

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Veneteknologia

Andreas Tainio

ALUMIINI- JA LUJITEMUOVIKAPPALEIDEN LIIMAUS
VENETUOTANNOSSA

Opinnäytetyö 2014

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Veneteknologia

Tainio, Andreas	Alumiini- ja lujitemuovikappaleiden liimaus venetuotannossa
Opinnäytetyö	46 sivua + 2 liitesivua
Työn ohjaaja	Mikko Pitkäaho, kehitysinsinööri
Toimeksiantaja	Kiilto Oy
Syyskuu 2014	
Avainsanat	Venetuotanto, liimaliitos, lujitemuovi, alumiini

Rakenteellisten liimaliitosten käyttö venetuotannossa on ollut suhteellisen vähäistä ja liimoja on käytetty lähinnä mekaanisen liitoksen tiivistämiseen. Liimaliitoksen käyttö perinteisten liitosmenetelmien korvaajana on kuitenkin yleistymässä liima-aineiden kehityksen myötä. Venealan standardit eivät tarjoa selkeitä ohjeita tai työkaluja liimaliitoksen mitoittamiseen ja muidenkin ohjeistusten saatavuus on huono. Tässä opinnäytetyössä kartoitettiin ne asiat, jotka ovat oleellisia liimattaessa lujitemuovi- ja alumiinikappaleita venetuotannossa. Venetuotannon lisäksi liimaliitosta tarkasteltiin myös veneen käytön näkökulmasta. Työssä tarkasteltiin potentiaalisia liima-aineita ja liimauskohteita sekä pyrittiin luomaan hyvää lähtökohtaa liimaliitoksen suunnitteluun.

Opinnäytetyön sisältöön kuului myös vetokokeita, joilla selvitettiin valikoitujen SMP- (silyylimodifioitu polymeeri) ja polyuretaaniliimojen ominaisuuksia ja soveltuvuutta venetuotannossa tyypillisesti käytettäviin alumiini- ja lujitemuovipintoihin sekä esikäsittelyiden vaikutusta adheesioon. Kirjallisuusselvityksen ja vetokokeiden lisäksi työssä hyödynnettiin liima- ja venevalmistajan tietoja ja kokemusta.

Testattujen liimojen adheesio osoittautui hyväksi gelcoatpintaan, eikä esikäsittelyillä saavutettu parempaa lopputulosta. Liimojen adheesio polyesterihartsipintaan oli myös kohtalaisen hyvä. Esikäsittelyiden vaikutus polyesterihartsipintaan oli vaihteleva. Kaksikomponenttisella polyuretaaniliimalla lujuuden kasvu oli merkittävä kun käytettiin repäisykangasta. Yksikomponenttisten polyuretaaniliimojen adheesio alumiinipintaan oli heikko ja ne vaativatkin hionnan ja primerin käytön. Muilla testatuilla liimoilla adheesio käsittelemättömään alumiinipintaan oli parempi ja esikäsittelyillä saavutettiin pääsääntöisesti hieman parempi adheesio.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Boat Technology

Tainio, Andreas

Adhesive Bonding of Aluminium and Glass Fiber Structures in Boat Industry

Bachelor's Thesis

46 pages + 2 pages of appendices

Supervisor

Mikko Pitkäaho, Development Engineer

Commissioned by

Kiilto Oy

September 2014

Keywords

boat industry, adhesive joint, aluminium, glass fiber

The use of adhesive bonding as a structural joining method in boat industry has been fairly moderate, and adhesives have mostly been used to seal a mechanical joint. However, adhesive joining is gaining more popularity in replacing traditionally fabricated joints due to the development of adhesives. The construction standards lack information and tools to determine the actual design and limitations of adhesive joint, and the availability of other sources of instructional material is poor.

Therefore, this thesis focuses on finding the aspects which have the most influence on using the adhesive bonding in glass fiber and aluminium boat structures and the actual use of the boat. This thesis also focuses on potential adhesives for marine use and the possible bonded structures. The main objective was to create a basis for designing the adhesive joint in boat production.

This study included a lap shear test to determine the bonding characteristics of selected SMP and polyurethane adhesives and the suitability to typical aluminium and glass fiber surfaces found in boat production. The test also included some simple surface treatment methods. In addition to the literature review and the lap shear test, this thesis benefited from the knowledge provided by a boat manufacturer and the adhesive manufacturer.

All the tested adhesives had good adhesion to the gelcoat surface, and the surface preparations did not show any improvements. The adhesion to the surface of the polyester resin was decent. The effect of the surface preparations for the polyester resin surface varied within the adhesives. The peel ply showed some noticeable improvements to the strength of the joint made with a two-component polyurethane adhesive. The one-component polyurethane adhesives had poor adhesion to aluminium surface, and the need of the abrasion and the primer was necessary. The other adhesives showed better adhesion to aluminium surface, and the effect of the surface preparations were mainly positive.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SELITYSLUETTELO	5
1 JOHDANTO	6
2 LUJITEMUOVI JA ALUMIINI VENEENRAKENNUSMATERIAALEINA	7
2.1 Lujitemuovi	7
2.2 Alumiini	9
3 LIIMALIITOKSEN KÄYTTÖ VENETUOTANNOSSA	10
3.1 Liimaliitoksen vertailu muihin liitosmenetelmiin	10
3.2 Veneen käytön asettamat vaatimukset liimaliitokselle	12
3.2.1 Liima-aineen ominaisuudet	13
3.2.2 Liitosgeometria	15
3.3 Venekokoonpanon asettamat vaatimukset liimaliitoksille	19
3.3.1 Liima-aineen ominaisuudet	19
3.3.2 Esikäsittelyt	21
3.3.3 Laadunvalvonta	22
4 POTENTIAALISET VENEKÄYTTÖÖN SOVELTUVAT LIIMAT	24
4.1 Polyuretaaniliimat	24
4.2 SMP-liimat	26
4.3 Epoksiliimat	27
4.4 MMA-liimat	28
5 LIIMOJEN TESTAUS	28
5.1 Vetokoe	28
5.2 Testikappaleiden valmistus	30
5.3 Testin suorittaminen ja tulokset	32
6 MAHDOLLISET LIIMAUSKOHTEET	35
6.1 Rungon ja kannen välinen liitos	35

6.2	Jäykisteet, laipiot ja moduulit	37
6.3	Läpiviennit ja helat	39
6.4	Tuulilasi ja ikkunat	39
7	LOPPUPÄÄTELMÄT	40
	LÄHTEET	42
	LIITTEET	

Liite 1. Valmistajan ilmoittamat tekniset tiedot liima-aineista

Liite 2. Vetotestin tulokset

SELITYSLUETTELO

Gelcoat Hartsi johon on sekoitettu muun muassa pigmenttiä. Muodostaa veneen ulkopinnan.

SMP, Silyylimodifioitu polymeeri

MMA, Metyylietakrylaatti

MEKP, Metyylietyyliketoniperoksidi

DCPD, Disyklopentadieeni

FEM, Elementtimenetelmä (engl. finite element method)

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin liimaliitoksen käyttöä pienten ja keskisuurten moottoriveneiden valmistuksessa. Materiaaleiksi valittiin lujitemuovi ja alumiini, jotka ovat tyypillisimmät sarjatuotantomaisessa veneenrakennuksessa käytettävät materiaalit.

Liimaliitosta on käytetty ensisijaisena liitosmenetelmänä ajoneuvo- ja ilmailuteollisuudessa jo pitkään, mutta venetuotannossa liimaliitoksen hyödyntäminen on ollut vähäisempää. Venetuotannossa liimoja on käytetty lähinnä mekaanisen liitoksen tiivistämiseen ja varsinaisena liitosmenetelmänä ei-rakenteellisissa kohteissa. Tilannetta voidaan perustella riittämättömillä ohjeistuksilla sekä standardien vähäisellä tuella liimaliitosten käyttöön. Venemarkkinoilla kilpailu vain kovenee, joten uusia materiaali- ja rakenneratkaisuja on kehitettävä. Paineen kohdistuessa halvan työvoiman maista, on valmistuskustannukset saatava mahdollisimman alhaiseksi tuotteen laadusta tinkimättä.

Liima-aineiden kehittymisen myötä, on liimaliitoksen käyttö venetuotannossa monessa tilanteessa järkevämpi ratkaisu kuin perinteiset liitosmenetelmät. Perinteisiin liitosmenetelmiin kuuluu mekaanisten liitosten lisäksi laminointi ja hitsaus. Liimaliitoksessa on kuitenkin suhteellisen paljon huomioon otettavia asioita ja liimojen tuotevalikoima valtava. Näin ollen liimaliitosta suunniteltaessa on osattava valikoida juuri oikeat ominaisuudet, jotka vaikuttavat venetuotannossa tehtävän liimaliitoksen onnistumiseen. Liimaliitoksen suunnittelussa pitää ottaa huomioon eri asioita kuin mekaanisen liitoksen suunnittelussa, jolloin mekaanisen liitoksen muuttaminen suoraan liimaliitokselle ei tuota parasta mahdollista lopputulosta.

Liimaliitoksen suunnittelusta yleisesti löytyy paljon kirjallisuutta ja tutkimustietoa, mutta venetuotantoon liittyvää materiaalia on vähemmän saatavilla. Tämä opinnäytetyö perustuu kirjallisuusselvitykseen ja testikappaleille suoritettuun vetokokeeseen. Päämääränä oli testata SMP- ja polyuretaaniliimojen soveltuutta venetuotannon materiaaleihin ja kartoittaa asioita, jotka tulee ottaa huomioon liimaliitoksen suunnittelussa.

Opinnäytetyön toimeksiantajana oli kotimainen Kiilto oy, jolla on yli 90 vuoden kokemus kemianteollisuuden tuotteiden valmistuksesta, päätuotteina liimat ja niihin

läheisesti liittyvät tuotteet. Opinnäytetyön teossa hyödynnettiin myös Terhitec Oy:n Silver- ja Seastar-veneiden tuotantoa Ähtärissä.

2 LUJITEMUOVI JA ALUMIINI VENEENRAKENNUSMATERIAALEINA

2.1 Lujitemuovi

Lujitemuovin käyttö veneenrakennusmateriaalina alkoi 1940-luvulla ja nykyään veneteollisuus onkin yksi suurimmista lujitemuovin käyttäjistä Suomessa.

Lujitemuovin suosiota veneenrakennusmateriaalina voidaan perustella muun muassa hyvillä lujuusominaisuuksilla suhteessa painoon, räätälöitävyydellä, muotoilun vapaudella sekä hyvällä meriolosuhteiden kestolla.

Veneenrakennuksessa tyypillisesti käytettävä lujitemuovi koostuu kertamuovipohjaisesta matriisimuovista sekä lujitteista. Suosituin matriisimuovi on tyydyttymätön polyesteriharts, joka kovetetaan peroksidikovetteen avulla eksotermisessä silloittumisreaktiossa. Polyesterihartsin kovettumisreaktio on kolmivaiheinen pitäen sisällään geeliytymisen, kovettumisen ja jälkikovatumisen. Jälkikovatuminen on huoneenlämmössä pitkä prosessi, jossa vapautuu styreeniä ja tapahtuu kutistumista käytetystä hartsista riippuen. Jälkikovatumista voidaan nopeuttaa nostamalla laminaatin lämpötilaa, mutta menetelmä ei ole yleisesti käytössä veneenrakennuksessa. Polyesterihartsia on saatavilla isohtaali- ja ortohtaalipohjaisina. Niistä ortohtaalipohjainen on suositumpi lähinnä edullisemman hintansa ja hyvän saatavuuden vuoksi. Isohtaalipohjaisella hartsilla on parempi vedenkesto ja hieman paremmat lujuusominaisuudet ortohtaalipohjaiseen hartsiin verrattuna. (Eric Greene Associates 1999:70.) Polyesterihartsia on myös DCPD-pohjaisena ja sitä valmistetaan hydrolyysin avulla tai Diels-Alder reaktiolla. DCPD-hartsien viskositeetti on matalampi kuin tavallisten polyesterihartsien, jolloin siihen ei tarvitse lisätä niin paljoa styreeniä. (Scott Bader 2005:6-7.)

Epoksihartseja käytetään kun halutaan korkeat lujuusominaisuudet, hyvä sääolosuhteiden kesto, hyvä adheesio ja pieni kutistuma. Epoksihartsit on kuitenkin huomattavasti kalliimpia kuin polyesterihartsit, joten ne soveltuvat lähinnä kevyisiin ja vaativiin rakenteisiin. Epoksihartsi on kaksikomponenttinen aine, jonka komponenttien sekoitussuhde on tarkka, sillä kovete muodostaa osan kovettuneesta verkkorakenteesta toisin kuin polyesterihartsissa, jossa kovete vain käynnistää

kovettumisreaktion. Epoksihartsina on tyypillisesti bisfenoli-A, joka kovetetaan amini- tai happoanhydridipohjaisella kovetteella. (Scott Bader 2005:7-8.)

Veneenrakennuksessa käytetään myös vinyyliesterihartsia, mutta harvemmin.

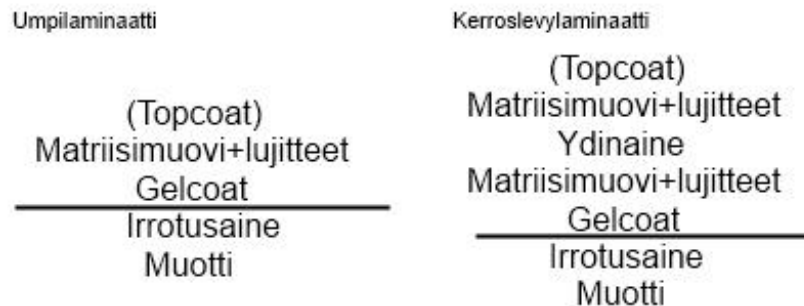
Vinyyliesterihartsia saatetaan käyttää gelcoatın jälkeisessä pintakerroksessa (*engl. skincoat*), jonka tarkoituksena on ehkäistä laminaatin osmoosivaurioiden syntymistä.

Vinyyliesterihartsi koostuu tyypillisesti metakryylihapon ja bisfenoli-A:n reaktiotuotteista, jotka ovat liuotettuna styreeniin. Vinyyliesterihartsi kovetetaan polyesterihartsin tapaan peroksidikovetteella. Vinyyliesterihartsin hyviin puoliin kuuluu korkeat lujuusominaisuudet, hyvä työstettävyys, hyvä lämmönkesto sekä hyvä voimakkaiden kemikaalien ja happojen kesto. Tästä johtuen niitä käytetäänkin enemmän prosessiteollisuuden laitteissa. (Eric Greene Associates 1999:71.)

Sarjatuotantomaisessa lujitemuoviveneiden valmistuksessa käytetään lujitteena pääasiassa lasikuitua. Yksittäiskappaleita valmistetaan myös käyttäen hiilikuitua, aramidikuitua tai luonnonkuituja. Veneenrakennuksessa käytettävä lasikuitu on E-lasia, jolla on hyvät mekaaniset ominaisuudet ja hyvä kemiallinen kesto (Eric Greene Associates 1999:63.). Lasikuitua käytetään mattoina, kudoksina ja nauhoina avolaminointi- ja alipainemenetelmissä. Ruiskulaminoinnissa katkokuitu levitetään ruiskuttamalla yhdessä hartsin kanssa.

Laminaatin valmistus aloitetaan muotin irrotusainekäsittelyllä, jolla varmistetaan kovettuneen kappaleen helppo irrotus. Irrotusaineena käytetään tyypillisesti luonnonvahaa tai polymeroituvaa kalvoa. Huonokuntoiseen muottiin levitetään tyypillisesti lisäksi polyvinyylialkoholipohjainen irrotusainekalvo. (Eric Greene Associates 1999:252.) Irrotusainekäsittelyn jälkeen muottipinnalle levitetään gelcoat. Se on polyesterihartsi, johon on lisätty muun muassa tiksotrooppisia aineita sekä pigmenttiä. Gelcoatia on myös saatavilla isoftaali- ja ortoftaalipohjaisena sekä isoftaali-neopentyyloglykolipohjaisina. Gelcoatın tarkoituksena on muodostaa veneen ulkopinnalle esteettinen pinta halutulla värillä ja suojata alla olevaa laminaattia. Gelcoatın päälle levitetään matriisimuovi ja lujitteet. Kerrosten välissä voidaan käyttää ydinainetta, jolloin laminaatista tulee jäykempää suhteessa painoon. Joissain tapauksissa viimeiseksi pinnaksi levitetään topcoat, joka on kuin gelcoat, mutta siihen on lisätty parafiiniliuos. Topcoatın tarkoitus on muodostaa hartsipintaa tasaisempi ja

esteettisempi pinta sekä suojata alla olevaa laminaattia. (Eric Greene Associates 1999:70.)



Kuva 1. Umpi- ja kerroslevylaminaatin rakenne

Laminaatin liimausominaisuuksiin vaikuttaa sen kovettumisen taso, käytetty matriisimuovi tai gelcoat ja mahdolliset irrotusainejäämät gelcoatpinnassa. Monissa hartseissa laminaatin pintaan muodostuu styreenin haihtumista rajoittava kalvo, joka on tyypillisesti vahapohjainen. Vaha laminaatin pinnassa heikentää laminaatin ja liiman välistä adheesiota. (Eric Greene Associates 1999:70.) Alhaisempiin styreenipäästöihin ilman vahakalvoa päästään DCPD-hartseilla, joissa styreenin tarve on pienempi johtuen erilaisesta kovettumisesta.

2.2 Alumiini

Alumiini on suosittu materiaali huvi- ja työkäyttöön tarkoitettujen moottoriveneiden valmistuksessa. Alumiinin etuihin kuuluvat muun muassa sen hyvät lujuusominaisuudet suhteessa painoon, hyvä korroosionkestävyys, työstettävyys, vähäinen huollon tarve ja kierrätettävyys.

Veneissä käytettävä alumiiniseos on niin sanottua merialumiinia. Kyseessä on alumiiniseos, johon on seostettu magnesiumia parantamaan lujuusominaisuuksia ja korroosionkestävyyttä (Sims 1993:1). Esimerkkinä voidaan mainita AW 5083 -alumiiniseos, joka on suosittu seos veneteollisuudessa. Alumiinilevyt valmistetaan kuuma- ja kylmävalssaamalla. Alumiinin korroosionkestävyys perustuu pinnalla olevaan oksidikerrokseen, joka suojaa alempia kerroksia. (Dwight 2002:99)

Alumiiniveneet valmistetaan tyypillisesti muotoon leikatuista alumiinilevyistä, jotka hitsataan toisiinsa käyttäen erilaisia jigejä. Levymateriaalin lisäksi pursoteprofiileita voidaan hyödyntää jäykisteissä ja liitoksissa. Pursoteprofiileita on huonosti saatavilla 5000-sarjan alumiinista, jolloin suosittu vaihtoehto on 6000-sarjan alumiini, joka kestää myös hyvin meriolosuhteita (Dwight 2002:32.). Alumiinille ei ole tapana tehdä hitsauksen jälkeen jälkikäsittelyitä. Joissain veneen varusteissa sekä luukkujen ja ikkunoiden kehyksissä käytetään anodisoitua alumiinia. Alumiiniveneen esteettisyyttä parannetaan veneen kylkien teippauksella ja joissain tapauksissa maalaamisella.

3 LIIMALIIITOKSEN KÄYTTÖ VENETUOTANNOSSA

3.1 Liimaliitoksen vertailu muihin liitosmenetelmiin

Venetuotannossa liima-aineita on käytetty tyypillisesti mekaanisen liitoksen tiivistämiseen, mutta rakenneliimojen kehittyessä on liimaliitosta alettu käyttämään ensisijaisena liitosmenetelmänä vaativammissakin rakenteellisissa liitoksissa. Lujitemuoviveneissä muita liitosmenetelmiä ovat niittaus, pulttaus ja laminointi. Alumiiniveneissä näitä ovat niittaus, pulttaus ja hitsaus.

Liimaliitos on aina suunniteltava kokonaisuutena ja näin ollen on perehdyttävä liima-aineen ominaisuuksiin, liitettävien kappaleiden ominaisuuksiin, liitosgeometrian vaikutukseen, liitokseen kohdistuvaan kuormitukseen sekä olosuhteiden vaikutukseen. Oikein suunniteltu liimaliitos tarjoaa huomattavia etuja laminointiin, hitsaukseen ja mekaanisiin liitoksiin verrattuna. Liimaliitoksella on monesti usempia tehtäviä, kun taas mekaanisella liitoksella vain yksi. Liimaliitokseen etuihin kuuluvat:

- Liimaliitoksessa kuormat kohdistuvat tasaisemmin koko liitosalueelle pistemäisten kuormien sijaan.
- Liimaliitos nopeuttaa ja yksinkertaistaa tuotteen läpimenoaikaa. Osien tarve vähenee.

- Liimaliitoksilla voidaan liitettävien kappaleiden alkuperäiset ominaisuudet ja ulkonäkö säilyttää. Hitsaaminen, poraaminen, lämmittäminen ja muu mekaaninen työstö yleensä vaurioittaa rakennetta.
- Liimaliitokset mahdollistavat erilaisten rakenneratkaisujen käytön, jotka eivät välttämättä olisi mahdollisia muilla liitosmenetelmillä.
- Laminoinnissa vapautuvalta styreeniltä välttyään käytettäessä liimaliitosta.
- Liimaus soveltuu kaikille materiaaleille sekä kahden eri materiaalin yhteen liittämiseen.
- Liimaliitos vaimentaa iskuja, melua sekä värähtelyä.
- Yhtenäinen liimasauma lisää rakenteen jäykkyyttä.
- Liimat toimivat erinomaisesti tiivisteinä suojaten kosteudelta, kemikaaleilta sekä korroosiolta.
- Elastisen liimaliitoksen käytöllä saadaan pelivaraa liitoksen esijännitysten ja materiaalien lämpölaajenemisen vaikutuksissa.
- Liimaliitos on esteettinen.
- Liimaliitoksilla voidaan vähentää rakennepainoa.
- Liimaliitoksilla saadaan venekäyttöön pitkäikäinen ja riittävä lujuus.
- Liimoilla on hyvä välyksentäyttykyky, joka mahdollistaa suuremmat mittatoleranssit.

Liimaliitoksen huonompiin puoliin kuuluvat:

- Liimaliitos voi olla huonompi vaihtoehto silloin kuin rakenne on tarkoitus purkaa tarkastusta tai huoltoa varten.

- Liimaliitoksen suunnittelu ja laadunvalvonta on haastavaa.
- Liimaliitoksen käytössä on kiinnitettävä enemmän huomiota tuotantotilan olosuhteisiin kuin mekaanisen liitoksen käytössä.

3.2 Veneen käytön asettamat vaatimukset liimaliitokselle

Liimaliitoksen käyttö venetuotannossa vaatii hyvää suunnitteluperiaatteiden hallintaa sekä tutustumista liima-aineen sekä liimattavien materiaalien ominaisuuksiin. Liimaliitosta suunniteltaessa ja liima-ainetta valittaessa tulee perehtyä liitokseen kohdistuviin kuormiin ja liitoksen suorituskykyyn muuttuvissa olosuhteissa. Tämä näkökulma liimaliitoksen suunnittelussa tulee ottaa ensimmäisenä huomioon, koska se saattaa poissulkea osan vaihtoehtoista. Liimaliitosta on tarkasteltava aina kokonaisuutena.

Vene altistuu käytössä vaativille ja vaihteleville olosuhteille. Suomen olosuhteissa liitos voi altistua $-30\text{ °C} - +30\text{ °C}$ lämpötilavaihteluille ja liitokseen kohdistuvassa suorassa auringonpaisteessa saattaa liitoksen lämpötila nousta huomattavasti vielä korkeemmaksikin. Tärkeää on myös ottaa huomioon UV-säteilyn vaikutus liima-aineeseen. Merivesi ja korkea ilmankosteus mahdollistavat kosteuden diffuusioitumisen saumaan ja liimattaviin kappaleisiin heikentäen liitosta pidemmällä aikavälillä. Huomioitava on mahdolliset veneen huollossa ja puhdistuksessa käytettävät kemikaalit, jotka päätyvät liimasaumaan. (McGeorge 2012:76-79.)

Veneeseen kohdistuu käytössä hydrodynaamisia sekä hydrostaattisia voimia. Liimaliitos altistuu näin ollen leikkaaville, vetäville, puristaville, repiville ja halkaiseville kuormille liitosgeometriasta riippuen. Aaltokuormituksessa ja iskukuormituksessa (engl. slamming) kohdistuu liitoksiin repiviä kuormia, jolloin liimaliitoksen tehtävänä on vaimentaa isku ja jakaa se mahdollisimman laajalle alueelle. Liitos altistuu myös merenkäynnin ja moottorin aiheuttamalle värähtelylle. Telakointi tai liitoksen kovetusprosessi saattavat aiheuttaa liitokseen esijännityksiä ja näin ollen altistaa virumiselle. (Sippola & Hintikka 2012:1). Laiturijossa ja rantautumisessa liitokseen välittyvät kuormat voivat olla voimakkaita, vaikka käytettäisiinkin lepuuttajia tai törmäyslistaa.

3.2.1 Liima-aineen ominaisuudet

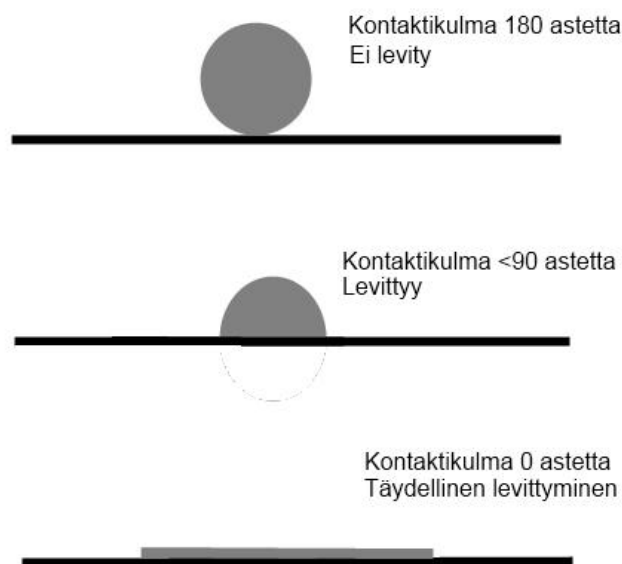
Venekäytössä liimaliitoksen lujuuteen vaikuttavat liima-aineen ja liimattavan pinnan välinen adheesio ja liimasauman koheesio, joiden tulee olla optimaalisessa tilanteessa likimain yhtä suuret. Adheesiolla tarkoitetaan kahden eri pinnan kykyä tarttua toisiinsa. Adheesiota ei voida selittää yhdellä teorialla, vaan se on erilaisten mekaanisten, fysikaalisten ja kemiallisten tekijöiden summa. Mekaanisessa adheesiossa liima kovettuu liimattavan pinnan huokosiin ja näin ollen muodostaa tartunnan materiaalien välille. Mekaanisen adheesion lisäksi tapahtuu myös materiaalien välillä vaikuttavaa fysikaalis-kemiallista ja spesifistä adheesiota, jotka luokitellaan primaarisiksi ja sekundaarisiksi liitoksiksi. Primaarisiin sidoksiin kuuluvat atomitasolla tapahtuvat ionisidokset, kovalenttiset sidokset sekä metallisidokset. Primaariset sidokset ovat huomattavasti voimakkaampia kuin sekundaariset sidokset, mutta ne ovat hyvin harvinaisia liimaliitoksissa. Lujitemuovia ja alumiinia liimattaessa, liimaliitoksissa tapahtuva spesifinen adheesio perustuu sekundaarisiin Van der Waalsin voimiin, jotka muodostavat molekyylien välisen sidoksen ja ovat hyvin merkittäviä mekaanisen adheesion lisäksi. (Harper 2004:401-403.)

Koheesiolla tarkoitetaan liima-aineen sisäistä lujuutta, johon vaikuttavat liima-aineen molekyylien väliset kemialliset ja mekaaniset sidokset (Michaloudaki 2005:6.). Liimaa valittaessa tiedot liiman koheesio-ominaisuuksista on saatavilla tarkkoina arvoina liiman valmistajalta, kun taas tarkkoja adheesio-ominaisuuksia on valmistajan vaikea ilmoittaa, sillä niihin vaikuttaa lukematon määrä tekijöitä. Liiman adheesio-ominaisuudet kannattaa testata kokonpanossa käytettäviä materiaaleja vastaavalla testikappaleella, ennen varsinaisten kappaleiden tuotantoa.

Liitokseen kohdistuessa repiviä ja halkaisevia kuormia on liiman sopivasta elastisuudesta etua. Joustavalla liimalla kuormat jäävät alhaisemmiksi kuin hauraalla liimalla. Pienellä murtovenymällä varustettulla hauraalla liimalla on todennäköisesti korkea leikkauslujuus, mutta se ei kestä repiviä tai halkaisevia kuormia eikä iskuja, joita venekäytössä esiintyy. Hauraan liiman murtuminen voi myös tapahtua pitkäaikaisen värinän ja muodonmuutosten vaikutuksesta. (Cognard 2006:361-364.) Elastisella liimasaumalla on muitakin etuja, kuten kahden eri materiaalin liittäminen

toisiinsa, jos niillä on eri lämpölaajenemiskerroin. Elastinen liimasauma pystyy mukautumaan lämpölaajenemiseen, kun taas hauraan liiman lämpölaajeneminen tulee olla lähellä liimattavien kappaleiden lämpölaajenemista. (Ebnessajad 2008:17.) Liima ei saa kuitenkaan olla liian elastinen, sillä se voi johtaa rakenteiden vaurioitumiseen liian suuriksi kasvaneista liikkeistä johtuen (Sippola & Hintikka 2012:62).

Liima-aineen tärkeimpiin ominaisuuksiin kuuluu sen kyky päästä mahdollisimman lähelle liimattavia pintoja. Siihen vaikuttavat liiman viskositeetti, pintajännitys ja rakenne. Liiman pintajännityksen tulee olla pienempi kuin liimattavan kappaleen pintaenergian, muutoin liima pisaroituu eikä levity kunnolla. Alumiinin ja lujitemuovin kanssa ei ole tässä suhteessa ongelmia, mutta liimatessa esimerkiksi matalan pintaenergian polyolefiinimuoveja saattaa levitys olla ongelmallista. Materiaalin pinnalla olevilla epäpuhtauksilla tai rasvoilla on yleensä negatiivinen vaikutus liiman levittymiseen. Liiman kastelukyky voidaan määritellä kontaktikulman perusteella. Mitä lähempänä kontaktikulma on 0 astetta, sitä paremmin liima levittyy. Kontaktikulman mittaus onnistuu siihen tarkoitettulla laitteella. (Harper 2004:401-403.)



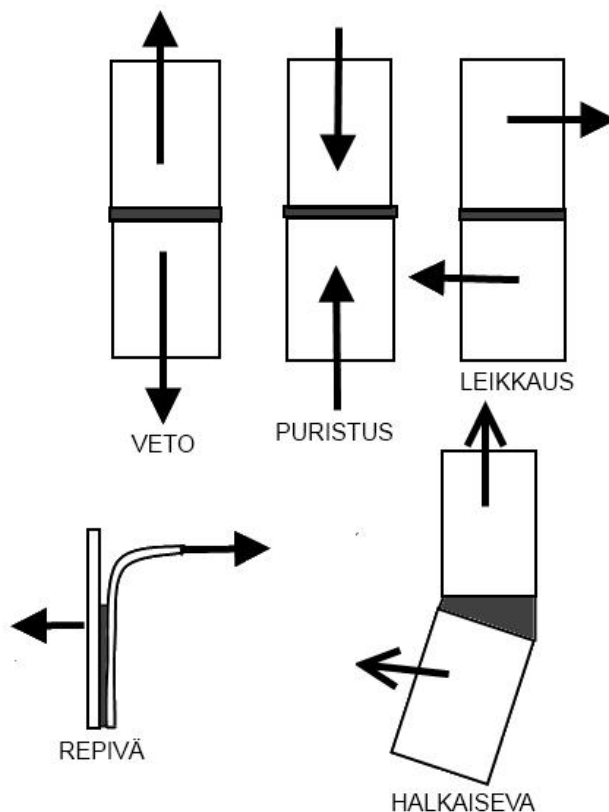
Kuva 2. Kontaktikulman vaikutus liiman levittymiseen

Liiman stabiilisuus lämpötilavaihteluissa on tärkeää. Liiman lasittumislämpötilan (T_g) ei tule olla veneen käyttölämpötilan alueella, jotta vältetään liiman koheesio-

ominaisuuksien heikkenemiseltä ja mahdolliselta virumiselta. (Harper 2004:479.) Uv-säteily saattaa aiheuttaa liimasauman halkeilua, haalistumista ja värinmuutoksia sekä myös koheesio-ominaisuuksien heikentymistä.

3.2.2 Liitosgeometria

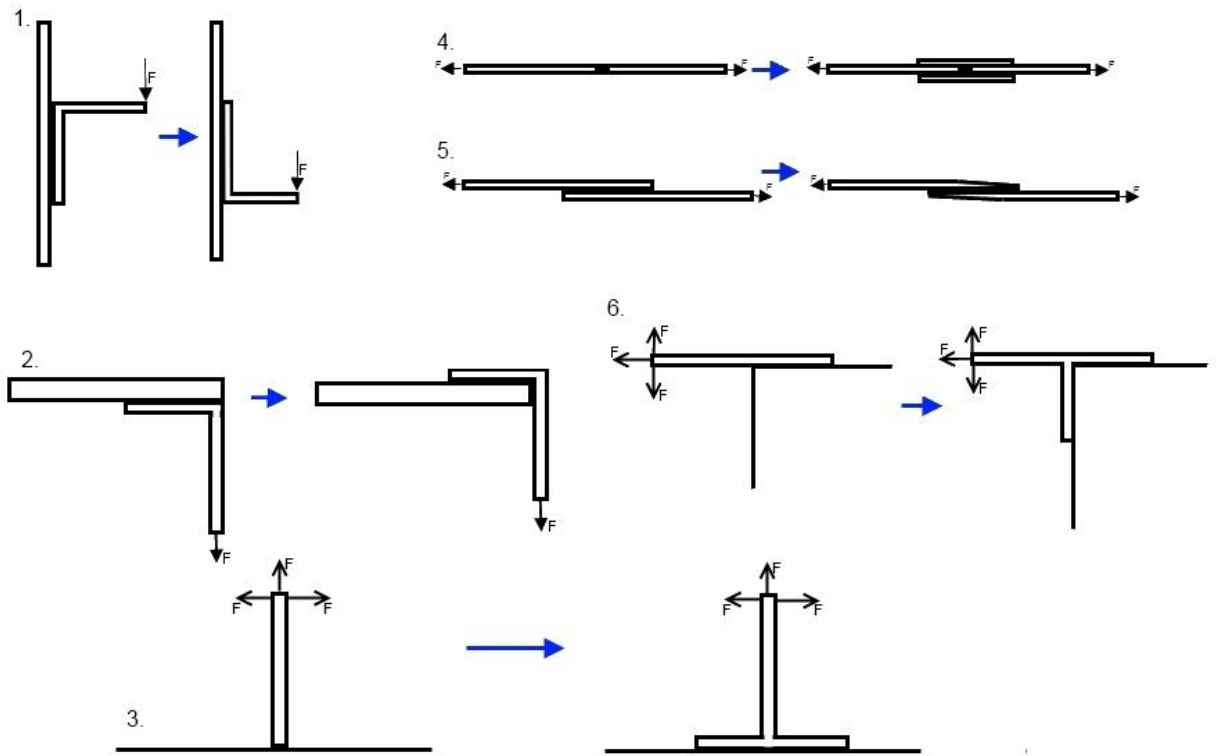
Liimaliitoksen suunnittelussa yksi tärkeimmistä osa-alueista on liitosgeometria, sillä oikein suunnitellulla liitoksella saavutetaan maksimaalinen hyöty käytettävistä materiaaleista. Yleisesti ottaen liimaliitokset kestävät hyvin puristavia, vetäviä ja leikkaavia kuormia, kun taas repivien ja halkaisevien kuormien kesto on huonompi. Tästä johtuen kuormituskeskittymien minimoimisen lisäksi on liitosgeometria suunniteltava siten, että liitostasoon kohtisuoraan kohdistuvat repivät ja halkaisevat kuormat jäisivät mahdollisimman pieniksi. Optimaalisessa tilanteessa kuormat, jotka siirtyvät liimattavien kappaleiden välillä, olisivat pääasiassa leikkauskuormia. (Michaloudaki 2006:4-5.)



Kuva 3. Liimaliitokseen kohdistuvat kuormat

Alumiini- ja lujitemuoviveneiden tuotannossa materiaalien koneistaminen ja muotoilu erilaisille porrastetuille tai viistetyille liitostyypeille on liian haastavaa ja aikaa vievää.

Tästä johtuen venetuotannon liitokset perustuvat laippa- ja limiliitoksen erilaisille variaatioille tai päittäisliitokseen.



Kuva 4. Esimerkkejä, miten heikosta liitoksesta saadaan kestävämpi

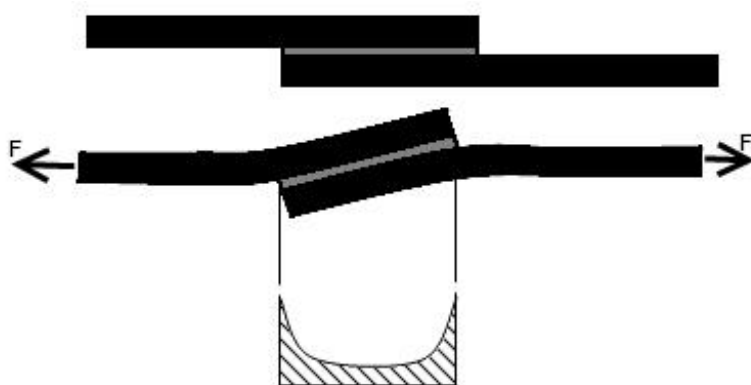
Kuvassa 4 on esiteltyä esimerkkejä, joiden avulla liitoksista voidaan tehdä kestävämpiä ja repivien kuormien osuus minimoitua. Kohdassa 1 liimasauman yläosaan kohdistuu repivä tai halkaiseva kuorma. Kääntämällä L-liitos toisin päin, kuormitus siirtyy liimasauman alaosaan ja se muuttuu puristavaksi. Molemmissa tilanteissa esiintyy myös leikkauskuormitusta koko sauman pituudelta.

Yksinkertaisella muutoksella liitoksen lujuus kasvaa huomattavasti. Kohdassa 2 repivä kuormitus myös minimoidaan ja muutetaan puristavaksi ja leikkaavaksi kuormitukseksi. Kohdan 3 päittäisliitos ei kestä muuta kuin suoraa vetoa ja puristusta. Muutamalla se T-liitokseksi liitospinta-ala kasvaa ja liitos on huomattavasti paremmin tuettu. Kohdassa 4 päittäisliitos on muutettu kaksipuoliseksi palstaliitokseksi, joka kestää paremmin muutakin, kuin suoraan kohdistuvaa veto- tai puristuskuormitusta. Kohdassa 5 on limiliitoksen päät viistetty, joka alentaa limityksen reunoilla esiintyviä leikkaus- ja repimisjännityksiä (Ebnesajjad 2008:178-179.) Kohdassa 6 muutoksen jälkeen liitos pystyy ottamaan vastaan paremmin repiviä kuormia.

Hyvä esimerkki on yksipuolinen limiliitos, josta löytyy paljon tutkimustietoa. Kuormituksen alaisena limiliitos pyrkii taipumaan, jolloin leikkauskuormitus on limityksen päissä huomattavasti suurempi kuin keskiosassa. Taivutusmomentista johtuen limityksen päissä esiintyy myös repiviä kuormia. Kuormitusjakaumasta johtuen, jos limityksen pituus kaksinkertaistetaan, on sillä hyvin pieni merkitys liitoksen lujuuteen. Suurin hyöty saadaankin leventämällä liitosta, koska liitoksen lujuus kasvaa suhteessa leveyteen. Limitys tulee kuitenkin olla riittävän pitkä, jotta saavutetaan elastinen keskiosa. Elastinen keskiosa ottaa vastaan kuormituksen tapauksessa, jossa liitos pettää päistään. Lyhyellä limityksellä koko liitoksen pettäminen tapahtuu äkillisemmin. (McGeorge 2012:88.) Limiliitoksen limityksen minimipituus voidaan laskea kaavalla

$$l^* = \rho \sqrt{\frac{E_1 s_1 d}{G(1 + \delta)}} \quad \text{jossa } \delta = \frac{E_1 s_1}{E_2 s_2} \text{ ja } \rho = (1 + \delta) \frac{G^* l^2}{E_1 s_1 d} \quad (1.)$$

jossa l^* on limityksen minimipituus, l on limityksen pituus, E_1 ja E_2 on liimattavien kappaleiden kimmomoduulit, s_1 ja s_2 on liimattavien kappaleiden paksuudet, d on liimasauman paksuus ja G on liiman leikkausmoduuli. Limityksen minimipituus saadaan kun ρ :n arvoksi asetetaan 5. (Weitzenböck & McGeorge 2005:11.2)



Kuva 5. Jännitysjaakauma kuormitetussa limiliitoksessa.

Kuormitus kohdistuu tasaisesti limityksen molempiin päihin, jos liimattavat kappaleet ovat identtisiä. Jos liimattavien kappaleiden paksuudessa tai jäykkyydessä on eroa,

vaikuttaa se kuormituksen jakautumiseen. Kappaleen jäykkyyttä voidaan kuvailla sen kyvyllä vastustaa muodonmuutosta. Jos kappaleiden jäykkyydet ovat epätasapainossa, kohdistuu suurin osa liimasauman leikkauskuormituksesta vähemmän jäykän kappaleen puoleen. Jos jäykkyyden epätasapaino on 30 %, sillä ei ole huomattavaa merkitystä liimasauman kuormitukseen, mutta jos epätasapaino on 70 % kohdistuu huomattavan suuri kuormitus vähemmän jäykän kappaleen puolelle. Se johtaa liimasauman myötäämiseen ja heikentyneeseen lujuuteen. Mitä jäykempiä liimattavat kappaleet ovat, sitä vähemmän niihin kohdistuu repiviä kuormia. Liimattavien kappaleiden paksuuksien epätasapaino johtaa myös samankaltaiseen tulokseen. Jos kappaleiden paksuudet ovat epätasapainossa, kohdistuu suurin osa repivistä ja leikkaavista kuormista ohuemman kappaleen puoleen. Paksuuksien epätasapaino ei vaikuta liimasauman kuormitukseen, vaan liimattaviin kappaleisiin. Suurin lujuus saavutetaan siis materiaalien ominaisuuksien ja geometrian ollessa tasapainossa. Epätasapainoiset liitokset vaativat liima-aineelta korkeaa murtovenymää, lujuutta ja sitkeyttä. (Ficarra 2001:56-69.)

Liimasauman paksuudella on myös merkitys liitoksen kestävyYTEEN. Liimasauman paksuus vaikuttaa sauman jännitys jakaumaan ja liimattavien kappaleiden kuormitukseen. Paksumpi liimasauma jakaa kuormituksen laajemmalle alueelle, joka johtaa pienempiin jännityskeskittymiin ja tasaisempaan jännitys jakaumaan. Paksummalla liimasaumalla erityisesti repivien kuormien osuus on pienempi. Liima-aineen jäykkyys vaikuttaa myös jännitys jakaumaan. Joustavammalla liimalla liitoksen limityksen päihin kohdistuvat kuormat ovat huomattavasti alhaisempia kuin jäykällä liimoilla. Joustavan liiman myötöraja ei kuitenkaan saa ylittyä kuormituksen alaisena. (Cognard 2006:205-216.)

Liima-aineen muodostama purse on hyvä jättää ehjäksi, sillä se antaa lisätukea liimasauman päihin, joihin suurin osa kuormituksesta tyypillisesti kohdistuu. Purse alentaa liimasauman päissä olevia leikkaus- ja repimisjännityksiä. (Ficarra 2001:51-56.)

Liitosgeometrian suunnittelussa voidaan käyttää myös FEM-ohjelmistoja, joilla voidaan laskea liitoksen jännitys jakauma ja näin ollen määrittää alueet, joissa murtuminen tulee todennäköisesti tapahtumaan.

3.3 Venekokoonpanon asettamat vaatimukset liimaliitoksille

Veneiden kokoonpanolinjat vaihtelevat riippuen veneen koosta, materiaaleista sekä rakenneratkaisuista. Tyypillisessä 4 – 6 m pituisten moottoriveneiden tuotantotilassa, veneitä valmistuu 5 – 10 kappaletta päivässä. Tuotteen läpimenoaikaan vaikuttaa esimerkiksi se, että tulevatko osat valmiina alihankkijalta vai valmistetaanko ne itse.

Ihanteellisessa tilanteessa kokoonpanoa ei tapahdu veneen sisällä, vaan se perustuisi modulaarisuuteen, jossa mahdollisimman pitkälle viimeistellyt ja varustellut osat liitettäisiin toisiinsa. Tällainen toimintamalli soveltuu liimaliitokselle, sillä liimaliitokset voidaan tehdä liitettävien kappaleiden materiaalista, muodosta ja käyttötarkoituksesta riippumatta samassa paikassa paikassa ja samoilla työvälineillä.

Vaikka liima-aineen valinnan tulee perustua pääasiassa tekniseen suorituskykyyn, ei kustannuksia tule unohtaa. Liimaliitoksen käytön kustannukset eivät koostu pelkästään raaka-aineista vaan myös työn määrästä, tarvittavista työkaluista ja välineistä sekä työ- ja ympäristöturvallisuustekijöistä.

3.3.1 Liima-aineen ominaisuudet

Venekokoonpanossa liiman levitys ja käsittely tulee olla helppoa.

Yksikomponenttisellä liimalla ei ole tässä suhteessa ongelmia, mutta jos liiman viskositeetti on suuri, niin käsikäyttöisellä pistoolilla levitys on raskasta.

Kaksikomponenttisten liimojen sekoitus ja levitys on verrattain hidasta liitettäessä isompia pintoja toisiinsa. Investointi pumppulaitteistoon, joka mittaa, sekoittaa ja annostelee kaksikomponenttisen liiman, on suositeltavaa. Venerakenteiden mittatoleranssit ovat yleensä 3 – 4 mm ja se tulee huomioida liiman välyksentäyttykyvyssä. Vaikka huolellisuus on liiman levityksen kannalta todella tärkeää, on eduksi, jos liiman virhealttius on pieni.

Liiman kutistuma tulee kovetuksen yhteydessä olla mahdollisimman pieni. Liuottimia sisältävät liimat, joista liuotin haihtuu kovettumisen yhteydessä, kutistuvat monesti enemmän kuin liuotinvapaat liimat. Kutistuminen aiheuttaa liimaan esijännityksiä, jotka heikentävät liitoksen kestoja. (Ebnesajjad 2008:159.)

Kaksikomponenttisten liimojen komponenttien sekoituksen jälkeen on määrätty aika, jolloin liima on levitettävä ja kappaleet liitettävä toisiinsa. Tätä kutsutaan liiman purkkiajaksi. Liiman purkkiaika voi olla tuotteesta riippuen muutamasta minuutista usempiin tunteihin ja siihen vaikuttavat liimaolosuhteet ja mahdollisesti liiman määrä. Purkkiajan umpeuduttua on liiman kovettuminen jo liian pitkällä ja viskositeetti liian korkea liitoksen suorittamiseen. (Ebnessajad 2008:337.)

Yksikomponenttisten liimojen työaika määräytyy nahoittumisen perusteella. Liiman kovettuessa ulkoa sisään päin, nahoittumisajan täytyttyä liiman pintaan muodostuu kovettunut kalvo, joka estää kunnollisen adheesion syntymisen liiman ja liimattavan pinnan välille. Jos sauma on ehtinyt nahoittua ennen liitosta on liiman levitys tehtävä uudelleen. Sauman nahoittuminen voidaan tarkistaa painamalla puhtaalla sormella kevyesti liimasauman pintaan. Jos liimaa tarttuu sormeen, voidaan liitos vielä suorittaa.

Venekäyttöön soveltuvan liiman kovettuminen kestää tuotteesta riippuen muutamasta tunnista vuorokausiin. Kaksikomponenttisilla liimoilla saavutetaan nopeampi kovettuminen kuin ilmankosteuden avulla kovettuvilla yksikomponenttisilla liimoilla. Ilmankosteuden avulla kovettuvien liimojen kovettuminen on monesti hyvin tarkka riittävästä lämpötilasta ja ilmankosteudesta, jolloin kuivissa tuotantotiloissa on käytettävä ilmankostutinta. Liiman ei tarvitse kuitenkaan olla täysin kovettunut, ennen kuin kokoonpanoa voidaan jatkaa. Tärkeää on kuitenkin olla kuormittamatta saumaa, joka ei ole vielä saavuttanut käsittelylujuuttaan.

Liimojen varastointi tapahtuu yleensä kuivassa paikassa ja kontrolloidussa lämpötilassa. Varastointiaika ja vaaditut olosuhteet vaihtelevat tuotteesta riippuen, eikä väärin säilytettyä tai eräpäivän ylittänyttä tuotetta tule enää käyttää. (Davis & Tombling 2007:36-37.)

Liimoilla on erilaisia työturvallisuuteen liittyviä vaatimuksia, jotka vaikuttavat liiman käsittelyyn ja varastointiin. Työhyvinvoinnin kannalta on edullista, jos liimaa voidaan käsitellä ilman raskaita suojavarusteita. Jäätteen käsittely ja työturvallisuus voivat nousta suuriksikin kulueriksi.

3.3.2 Esikäsittelyt

Esikäsittelyn tarkoituksena on parantaa liimattavien kappaleiden adheesiokykyä ja näin ollen varmistaa mahdollisimman suuri ja pitkäaikainen liitoslujuus.

Tarkoituksena on muodostaa suotuisa pinnan muoto mekaaniseen adheesioon sekä parantaa liima-aineen ja liimattavan pinnan molekyylien välistä vuorovaikutusta.

Esikäsittely on pahimmillaan monivaiheinen ja kallis kuluerä, mutta parhaimmillaan esikäsittelyksi riittää pölyn ja epäpuhtauksien poisto liimattavilta pinnoilta.

Esikäsittelyjen tarve vaihtelee liimasta ja materiaalista riippuen, jolloin sama pinta saattaa vaatia monimutkaisia esikäsittelyjä jollain liimalla, kun taas jollain toisella liimalla suurempia esikäsittelyjä ei vaadita. (Harper 2004:426.)

Esikäsittelyt jakautuvat pölyn ja epäpuhtauksien poistoon, mekaaniseen käsittelyyn, kemialliseen käsittelyyn sekä fyysiseen käsittelyyn. Pölyn ja epäpuhtauksien poisto tapahtuu käyttäen paineilmaa tai imuria ja epäpuhtauksien, lähinnä rasvan, poisto tapahtuu liuotinpyyhinnällä. Mekaanisia käsittelyjä ovat hionta ja raepuhallus.

Hionnassa materiaalin pintaan muodostuu epätasaisuuksia tai se tasoittuu, riippuen hiottavasta pinnasta ja hiomapaperin karkeudesta. Karkeassa pinnassa on enemmän muotoja ja näin ollen liitospinta-ala kasvaa ja liitoksen lujuus nousee. Hionnan merkitykseen tässä yhteydessä vaikuttaa liiman kastelukyky, sillä liiman tulee päästä mahdollisimman lähelle liimattavaa pintaa. Jos liima ei pysty tunkeutumaan hionnasta syntyviin uriin ja onkaloihin, ei kunnollista adheesiota saavuteta. Hionnalla pyritään myös irrottamaan materiaalin pinnasta epäsuotuisat osat. Raepuhallus on vaihtoehto hionnalle ja sen käyttöä voidaan harkita venetuotannossa, jos käsiteltävät liitospinnat ovat isokokoisia. Raepuhalluksessa voidaan käyttää lasikuulia, soodakiteitä tai alumiinioksidia. Hionnan ja raepuhalluksen jälkeen on pinnat syytä puhdistaa huolellisesti irtoneisista kappaleista ja pölystä.

Repäisykankaan käyttö esikäsittelymenetelmänä on todella nopea ja kustannustehokas vaihtoehto, joka kuitenkin toimii vain tietyn tyyppisillä liimoilla ja materiaaleilla.

Repäisykangas on polyesteri- tai nylonpohjaisista kuiduista kudottu kangas, joka telataan viimeiseksi kerrokseksi lujitemuovipintaan ennen hartsin kovettumista.

Repäisykangas muodostaa laminaattiin karkean ja tasalaatuisen pinnan ja se voidaan poistaa juuri ennen suoritettavaa liimausta, jolloin liimapinta säilyy puhtaana välissä olevien prosessien ajan. Repäisykankaan vaikutusta adheesioon on kuitenkin syytä

testata ennen käyttöönottoa, sillä jokaisella liimalla repäisykankaan käytön vaikutus ei ole positiivinen. Nylonpohjaisissa repäisykankaissa käytetään monesti irrotusainetta, koska muuten repäisykankaan irrotus ei ole mahdollista vaurioittamatta lujitemuovirakennetta. Irrotusaineena voi olla pahimmassa tapauksessa silikoni, josta jää jäämiä liitospinnalle heikentäen adheesiota. Polyesteripohjaisen repäisykankaan ollessa niin inertti, irtoaa se helposti pinnalta ilman irrotusainetta. Repäisykankaan jättämän pinnan liimausominaisuuksiin vaikuttavat myös käytetyn hartsin kyky repäisykankaan kasteluun ja repäisykankaan irrotuksessa syntyneet säröt rajapintoihin. (Klapprott, Li, Wong, Geisendorfer 2004)

Kemiallisia käsittelyjä tarvitaan silloin kun liiman tarttuvuus liimattavaan pintaan on heikko. Kemiallisiin käsittelyihin kuuluvat primerit ja aktivaattorit, joiden tarkoitus on yksinkertaisesti edistää liiman tarttumista liimattavaan pintaan. Primerit koostuvat tyypillisesti adheesiota edistävästä aineista sekä liuottimesta. Primer leviteään liimattavalle pinnalle, jolloin siitä haihtuu liuotin ja jäljellä oleva adheesiota edistävä aine, joka voi olla esimerkiksi silaani, reagoi pintamateriaalin ja ilmankosteuden kanssa muodostaen adheesiota edistävän kalvon liimattavalle pinnalle. Primerin muodostoman kalvon tarkoituksena voi olla myös huokoisen pinnan tasoittaminen tai esikäsitellyn pinnan suojeleminen välissä olevien prosessien ajan. Aktivaattoreiden tarkoitus on aktivoida pinta liimausta varten ja mahdollisesti nopeuttaa kovettumista. (Harper 2004:432.)

Fyysiset esikäsitteilyt kuten koronakäsittely, liekitys ja plasmakäsittely parantavat vaikeasti liimattavien kestopuuvien adheesio-ominaisuuksia nostamalla pintaenergiaa, mutta ne eivät sovellu lujitemuovin tai alumiinin adheesion edistämiseen venetuotannossa. (Harper 2004:352-353.)

3.3.3 Laadunvalvonta

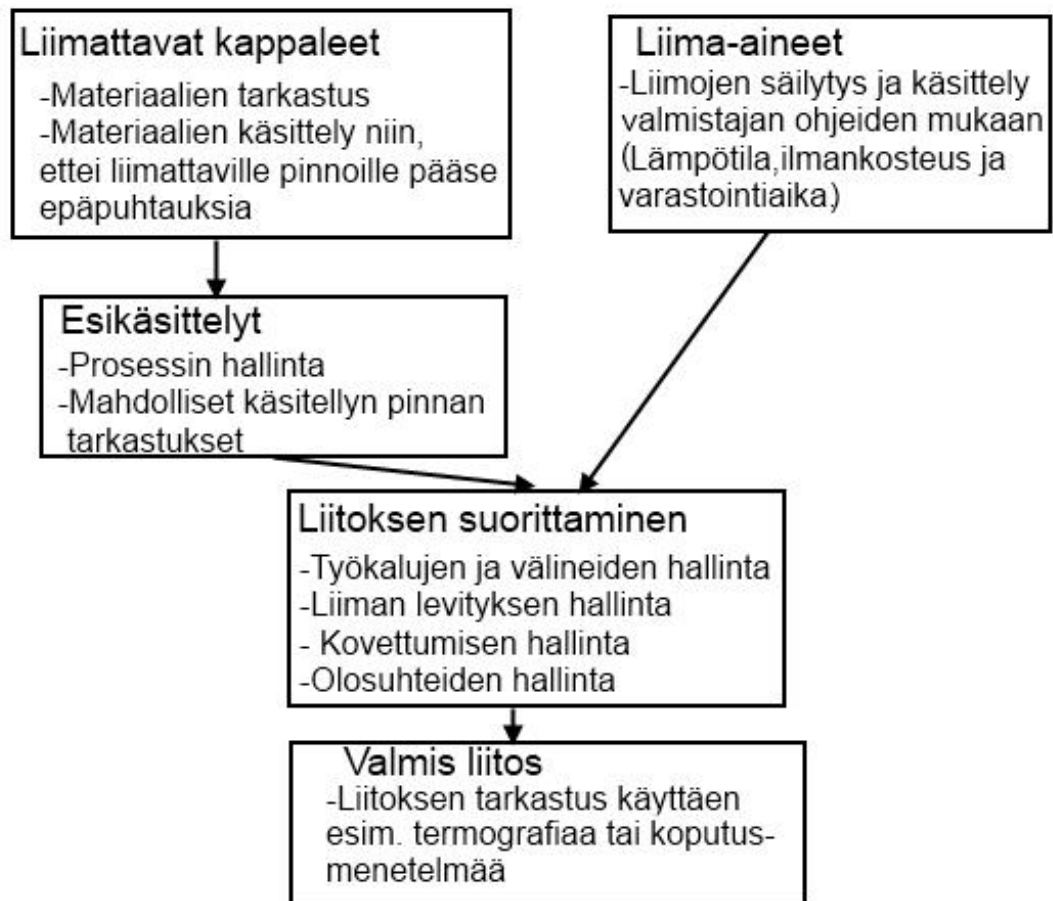
Liimaliitoksen käyttö vaatii tarkkaa laadunvalvontaa, jotta liitoksista tulee turvallisia ja luotettavia. Jokaiselle liimaliitoksen parissa työskentelevälle on oltava selvää, mitä liimaliitoksessa tulee ottaa huomioon ja mitkä asiat voivat johtaa liitoksen epäonnistumiseen. Laadunvalvonta pitää sisällään liimattavien materiaalien ja liima-aineen kontrolloinnin liiman vastaanotosta valmiin liitoksen tarkastamiseen.

Valmiin liimaliitoksen tarkastus on hankalaa, sillä liimasauman visuaalinen tarkastus on usein mahdotonta ilman apuvälineitä. Tästä johtuen on kiinnitettävä erityistä tarkkuutta kappaleiden liittämistä ennen tapahtuviin asioihin, sillä mahdolliset virheet tulevat esiin yleensä vasta veneen varsinaisessa käytössä. Inhimillisten tekijöiden vaikutus liimausprosessin onnistumiseen on muihin liitosmenetelmiin verrattuna suuri.

Liitoksessa tarkastettavia asioita ovat sauman paksuus, mahdolliset liimavapaat alueet, ilmakuplat ja muut virheet saumassa sekä epäonnistunut adheesio. Ongelmat liitoksessa voivat johtua epäonnistuneesta esikäsitteystä, liimattavan pinnan epäpuhtauksista, tuotantotilojen kosteus- ja lämpötilavaihteluista, epäonnistuneesta kovettumisesta tai huolimattomasta työskentelystä. (Michaloudaki 2005:16)

Liitoksen tarkastus voidaan tehdä rakennetta, menetelmiä ja olosuhteita vastaavia testikappaleita käyttäen, jotka rikotaan ja analysoidaan. Tämä menetelmä tarjoaa kuitenkin loppujen lopuksi vain kuvan kyseisestä testikappaleesta. Varsinaisen tuotantokappaleen rikkomista analysointia varten kannattaa harkita silloin, kun tuote on äärimmilleen viety ja sen liimaliitokset ovat kriittisiä rakenneliitoksia, joiden varaan lasketaan ihmishenkiä. (Ebnesajjad 2008:289)

Rakennetta rikkomattomia tarkistusmenetelmiä on kehitetty huomattava määrä ja niitä löytyy myös juuri liimaliitoksen tarkistamiseen. Menetelmiin kuuluvat erilaiset ultraäänimenetelmät, termografia sekä akustiset menetelmät. Tarkistuslaitteiden käyttöönotto vaatii hyvän perehdytyksen. Hyvä lähtökohta venetuotannon liimaliitoksien rakennetta rikkomattomaan tarkastukseen on koputusmenetelmä ja lämpökuvaus. Lämpökuvauksella voidaan tarkastella rakenteen lämpötilajakaumaa. Vauriokohdat ilmenevät rakenteessa alhaisemman lämmönjohtavuuden vuoksi, joka johtaa eroavaisuuksiin pintalämpötilassa. Kappaleet voidaan lämmittää ennen lämpökuvausta sähköisellä vastuksella, ilmapuhaltimella tai lämpölampulla, jotta lämpötilajakaumat saataisiin selkeämmin esiin. Käsikäyttöisten lämpökameroiden hinnat ovat tulleet niin alhaiselle tasolle, ettei sellaiseen investointi ole iso riski. Sisäisten vaurioiden paikallistaminen koputusmenetelmällä on paljon käytetty tapa veneteollisuudessa. Vaikka koputusmenetelmällä voidaan löytää vauriokohtia, perustuu se lähinnä tarkastajan kokemukseen ja tulkintakykyyn. Tulokset voivat vaihdella hyvinkin voimakkaasti eri tarkastajien kesken. (Sippola & Hintikka 2012:6-23.)



Kuva 6. Esimerkki liimaliitoksen laadunvalvonnasta venetuotannossa

4 POTENTIAALISET VENEKÄYTTÖÖN SOVELTUVAT LIIMAT

4.1 Polyuretaaniliimat

Polyuretaanit syntyvät polyolien ja isosyanaattien polyadditioreaktiossa.

Polyuretaaniliimojen ominaisuuksia voidaan muokata muuttamalla lähtöaineita sekä erilaisin lisäainein, joten niitä on saatavilla hyvinkin erilaisin ominaisuuksin.

Lisäaineina käytetään mm. UV-stabilaattoreita, antioksidantteja, pigmenttejä, katalyyttejä, fillereitä, antimikrobisia aineita, adheesion ja verkkoutumisen edistäjiä sekä mahdollisesti muita polymeerejä. (Petrie 2012)

Polyuretaaniliimat ovat tyypillisesti sitkeitä ja niillä on kohtalainen kemikaalien ja sään kesto. Polyuretaaniliimat eivät lähtökohtaisesti kestä UV-säteilyä kovinkaan hyvin, mutta monet valmistajat ovat onnistuneet parantamaan tuotteidensa UV-säteilyn kestoja. Polyuretaaniliimoilla on hyvät mahdollisuudet soveltua venekäyttöön,

niin tiivistykseen kuin rakenneliimauksiinkin ja ne soveltuvat hyvin alhaisiin lämpötiloihin, joissa metyylimetakrylaatti- ja epoksiliimat alkavat muuttua jäykemmiksi ja hauraimmiksi. Polyuretaaniliimat vapauttavat hyvin alhaisen määrän VOC-yhdisteitä eikä niillä ole voimakasta tuoksua.

Polyuretaaniliimoja on yksikomponenttisinä sekä kaksikomponenttisinä. Yksikomponenttiset polyuretaaniliimat koostuvat tyypillisesti isosyanaattipohjaisista prepolymeereistä, jotka reagoivat ilmankosteuteen. (Burchardt, Diggelmann, Koch, Lanzendörfer, Wappmann, Wolf 2006:37.) Kovettumisen tapahtuessa ilmankosteuden ja diffuusion avulla, on tapahtuma voimakkaasti riippuvainen riittävästä ilmankosteudesta, jolloin ilmankostuttimen käyttöä tarvitaan tuotantotiloissa, joissa on kuiva ilma. Testissä mukana olleiden yksikomponenttisten polyuretaaniliimojen kovettuminen tapahtuu noin 4 mm vuorokaudessa, olosuhteiden ollessa 23°C/50%RH. 1-komponenttisen polyuretaaniliiman kovettuessa ulkoa sisään päin on huomioitava liiman nahoittumisaika, jolloin liimasauman pintaan muodostuu kovettunut kalvo. Jos nahoittuminen on ehtinyt tapahtua ennen kappaleiden liittämistä toisiinsa on liimaus tehtävä uudelleen, koska liiman adheesio-ominaisuudet eivät enää ole entisellään (Burchardt, Diggelmann, Koch, Lanzendörfer, Wappmann, Wolf 2006:37-38.) Venekäyttöön tarkoitettujen yksikomponenttisten polyuretaaniliimojen ominaisuuksiin kuuluu tyypillisesti korkea murtovenymä ja kohtalaisen hyvät lujuusominaisuudet. Primereiden ja aktivaattoreiden käyttöä vaaditaan monesti kunnollisen adheesio aikaansaamiseksi varsinkin metallipinnoilla (Petrie 2012).

Kaksikomponenttiset polyuretaaniliimat koostuvat kahdesta perusaineesta, polyolista ja isosyanaatista, jotka sekoitetaan keskenään, jolloin ne reagoivat kemiallisesti ja muodostavat kovettuneen tuotteen. Kaksikomponenttisiä polyuretaaniliimoja on laaja valikoima erilaisin ominaisuuksin ja niitä on saatavilla vaihtelevilla purkkiajoilla ja kovettumisajoilla. Elastisuus vaihtelee tuotteesta riippuen hauraasta hyvinkin joustavaan liimaan. (Petrie 2012) Liimaa voidaan annostella kampalastalla tai annostelulaitteistolla. Annostelulaitteiston käyttö on suotavaa, sillä näin varmistetaan oikea sekoitussuhde, kunnollinen sekoittuminen sekä liiman levitys on helpompaa ja nopeampaa.

4.2 SMP-liimat

Silyyli modifioituihin polymeereihin perustuvat liimat kehitettiin Japanissa 1980-luvulla ja viime aikoina ne ovatkin alkaneet yleistyä myös Euroopassa hyvien ominaisuuksiensa vuoksi. SMP-liimat ovat tyypillisesti yksikomponenttisiä liimoja, joita voidaan käyttää tiivistämisessä ja rakenneliimauksissa.

SMP-liimoja on polyuretaani- ja polyeetteripohjaisina ja ne ovat isosyanaatti- ja liuotinvapaita. SMP-liiman silloittuminen tapahtuu kahdessa vaiheessa.

Ensimmäisessä vaiheessa metoksisilyyli-ryhmät reagoivat veden kanssa muodostaen silanoli-ryhmiä. Tämän jälkeen silanolit reagoivat toisen silanolin tai metoksisilyylin kanssa muodostaen siloksaani-ryhmiä. Kovettuminen ei tapahdu ilman vettä ja katalyyttiä. SMP-liimojen ominaisuuksiin vaikuttavat muun muassa käytettävät fillerit, pehmittimet, katalyytit, verkkoutumisen edistäjät ja silaanit. SMP-liimojen hyvät adheesio ominaisuudet perustuvat pitkälti silaaneihin. (Petrie 2010)

SMP-liimat tarjoavat hyvän adheesion moniin eri materiaaleihin, monesti ilman primerien käyttöä. SMP-liimat kestävät hyvin erilaisia sääolosuhteita, kemikaaleja sekä UV-säteilyä, joten ne soveltuvat hyvin venekäyttöön. (Petrie 1999:490-492.) SMP-liimojen kovettuminen on yksikomponenttisten polyuretaaniliimojen tapaan hyvin tarkka riittävästä ilmankosteudesta ja lämpötilasta. Ilmankostuttimien käyttö onkin suotavaa kuivissa tuotantotiloissa, sillä liiman kovettuessa ulkoa sisään päin on vaikea selvittää onko liima kovettunut täysin sauman sisältä. Paksua liimasaumaa käytettäessä epäedullisissa olosuhteissa voidaan käyttää liimaan sekoitettavaa toista komponenttia, joka koostuu pääasiassa vedestä. Näin ollen liimasauma kovettuu tasaisemmin ja varmistetaan nopeampi täydellinen kovettuminen. SMP-liimat ovat yleensä patruunoissa ja levitys tapahtuu käyttäen paineilma- tai käsikäyttöistä pistoolia tai liimamassoille soveltuvaa pumppulaitteistoa.

SMP-liimat ovat turvallisia käyttää ilman hengityssuojaimia. Toisin kun yksikomponenttisista polyuretaaniliimoista ei SMP-liimoista vapaudu kovettumisen aikana hiilidioksidia, jolloin liimaan ei muodostu koheesiota heikentäviä kuplia, kovettuen tasalaatuiseksi. SMP-liimojen kutistuma kovettumisen aikana on olematon ja VOC-päästöt todella alhaiset. (Cognard 2006:416-417.)

4.3 Epoksiliimat

Kertamuovipohjaiset epoksiliimat ovat erittäin lujia ja niillä on hyvät adheesio-ominaisuudet moniin eri pintoihin. Epoksiliimat koostuvat epoksiryhmistä, jotka kovetetaan amini- tai happoanhydridipohjaisilla kovettajilla polyadditioreaktiossa. Epoksit kestävät hyvin sääolosuhteita ja lämpötilavaihteluita. (Petrie 1999:355-361) Epoksiliimojen soveltuvuus venetuotantoon on lähtokohtaisesti hieman huono, sillä ne ovat hauraita ja niillä on todella alhainen murtovenymä, joka johtaa huonoon dynaamisten kuormien kestoon, iskunkestoon sekä repivien kuormien kestoon. (Ebnessejad 2008 :161.) Markkinoille on kuitenkin tullut erilaisia epoksipohjaisia elastisempia hybridiliimoja, joilla ei kuitenkaan enää ole vastaavia lujuusominaisuuksia kuin normaaleilla epoksiliimoilla. Epoksiliimoja on saatavilla yksikomponenttisina sekä kaksikomponenttisina.

Yksikomponenttiset epoksiliimat kovettuvat lämmön avulla, jolloin kovete aktivoituu ja silloittuminen alkaa. (Petrie 1999:356.) Yksikomponenttisten epoksiliimojen käyttö ei ole venetuotannossa järkevää, ellei puhuta äärimmäisen vaativista rakenteista. Lämpökovettuvien epoksiliimojen käyttö vaatii kalliita investointeja liima-aineisiin, tuotantotiloihin ja laitteisiin. Lämpökovettuvilla liimoilla ei ole niin sanottua purkkiaikaa, joten levitys voidaan tehdä huolellisesti ilman kiirettä.

Kaksi komponenttisen epoksin kovettuminen tapahtuu kun hartsi ja katalyytti sekoitetaan keskenään käynnistäen polyaddition. Kovettumisen kesto vaihtelee tuotteesta riippuen tunneista vuorokausiin ja työaika minuuteista tunteihin. Liimahartsin ja kovetteen sekoitussuhde on todella tarkka, koska kovete muodostaa osan kovettuneesta tuotteesta. (Petrie 1999:355-366.) Näin ollen automaattisen annostelulaitteiston käyttö helpottaa tuotteen sekoittamista ja nopeuttaa annostelua. Levitys voidaan tehdä myös käyttämällä manuaalista kaksoispatruunapistoolia.

Epoksiliimojen käyttö vaatii tarkkaavaisuutta tuotteen turvalliseen käyttöön. Useat epoksit ja niissä käytettävät kovetteet saattavat aiheuttaa yliherkkyyttä. Tyypillisesti epoksin kovettamiseen käytettävä amiini on myrkyllinen, mutta täysin kovettuneena epoksi on turvallinen. (Hara 1990:1) Epoksiliimat ovat yleensä huomattavasti kalliimpia kuin esimerkiksi polyuretaaniliimat tai SMP-liimat.

4.4 MMA-liimat

Metyylietakrylaattiliimat koostuvat metyylietakrylaatti-monomeereistä.

Kovettumisreaktion käynnistää peroksidikovete ja se tapahtuu vapaiden radikaalien reaktiossa. (Briggs, Jialanella:3-5.)

Normaalit MMA-liimat kovettuvat hauraiksi ja koviksi kalvoiksi, jotka eivät sovellu venekäyttöön, mutta kehitystyön tuloksena markkinoille on tullut modifioituja MMA-pohjaisia tuotteita, joilla on hyvät lähtökohdat täyttämään venekäytön asettamia vaatimuksia (Adhesive and Sealant Council 2014). Näissä tuotteissa on monesti metyylietakrylaatin lisäksi jokin elastomeeri sekä pehmittimiä, fillereitä ja muita lisäaineita. (Briggs, Jialanella:13-14.) MMA-liimat ovat kaksikomponenttisiä liimoja, joita voidaan annostella käyttämällä kaksoispatruunapistoolia tai annostelulaitteistoa. MMA-liiman komponenttien sekoitussuhde ei ole niin tarkka kuin esimerkiksi epoksiliimoilla (Adhesive and Sealant Council 2014). Tuotteita on saatavilla vaihtelevilla purkkiajoilla, mahdollistaen suurempienkin kappaleiden liittämisen.

Metakrylaattiliimoilla on hyvät lujuusominaisuudet, hyvä adheesio moniin eri materiaaleihin, korkea murtovenymä sekä hyvä välyksen täyttökyky. (Briggs, Jialanella:13-16.) Metyylietakrylaattien nopeassa eksotermisessä kovettumisreaktiossa tapahtuu kiehumista, jolla voi olla negatiivinen vaikutus sauman koheesio-ominaisuuksiin. MMA-liimoissa on voimakas tuoksu ja ne ovat erittäin helposti syttyviä (Briggs, Jialanella:18-19.). Pitkäaikainen altistuminen metakrylaatille saattaa aiheuttaa iho- ja hengitystieongelmia, joten suojavarusteiden käyttöä voidaan suositella (ITW Plexus 1999). Venekäyttöön soveltuvat MMA-liimat ovat monesti huomattavasti kalliimpia kuin polyuretaaniliimat tai SMP-liimat.

5 LIIMOJEN TESTAUS

5.1 Vetokoe

Liimojen ominaisuuksien selvittämiseksi päätettiin suorittaa ASTM-5868 standardin mukainen testi, joka on tarkoitettu alumiini- ja lujitemuovikappaleille. Testi suoritetaan vetokokeena limiliitoksella liitetyille testikappaleille ja sen tarkoituksena on vetoleikkauslujuuden mittaaminen. Valinta tehtiin siksi, että testi on yksinkertainen suorittaa ja sillä voidaan hyvin vertailla liimoja ja niiden adheesio-ominaisuuksia.

Tätä testiä ei voida kuitenkaan käyttää liiman todellisen leikkauslujuuden mittaamiseen, sillä se edellyttäisi normaalivoimien poissaoloa. Näin ollen liitos ei petä leikkauskuormituksen vaikutuksesta, vaan liitoksen päihin kohdistuvista normaalikuormista, jotka ovat leikkauskuormitusta suuremmat. Lisäksi testin tulokseen vaikuttavat liiman leikkausmoduuli, liimasauman paksuus, liimattavien kappaleiden vetomoduuli, liimattavien kappaleiden paksuudet, liimattavien kappaleiden Poissonin suhteet, limityksen pituus ja vetokuormitus kappaleissa liitosalueen ulkopuolella. Muutoksen kohdistuessa mihin tahansa edellä mainituista parametreista, muuttaa se jännitysjakaumaa ja näin oleen testistä saatavaa liiman leikkauslujuusarvoa. Testikappaleen mittaustuloksia ei voida päätellä rakenteellisen liitoksen lujuutta, joka eroaa jollain tapaa testissä käytettävästä liitoksesta. Testi soveltuu kuitenkin hyvin liima-aineiden vertailuun, pintakäsittelyiden vertailuun, liitosprosessien vertailuun ja nopeutetun ikääntymisen vaikutuksien tutkimiseen. (ASTM 2001:3-4.)

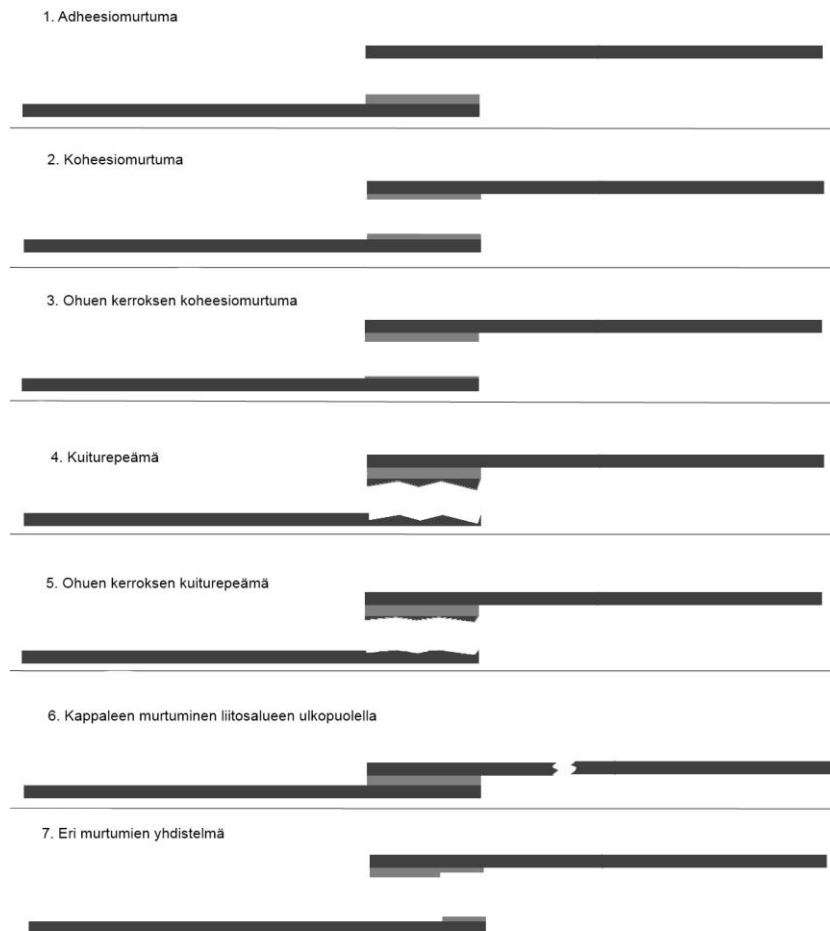
Testissä liitetään kaksi kappaletta toisiinsa käyttäen liimasaumaa, jonka pituus on 25 mm ja leveys 25 mm. Liimasauman paksuudeksi valittiin 2 mm, joka poikkeaa standardin huomattavasti ohuemmasta saumasta. Sauman paksuutta haluttiin kuitenkin lisätä, jotta se vastaisi venetuotannossa käytettävien saumojen paksuutta. Sauman paksuutta ei kuitenkaan kasvatettu enempää, jotta täydellinen kovettuminen onnistuisi nopeammassa aikataulussa.

Testilaitteena käytettiin Tiratest 2810 materiaalin koestuslaitetta. Testissä ei käytetty väliskappaleita tai itsestään asennoituvia kiinnitysleukoja, jolloin epälineaarisuudesta johtuvan taivutusmomentin osuus oli vieläkin suurempi. Kuormituksen ollessa venekäytön testaukseen sopiva, päätettiin testit suorittaa muutoksitta. Epälineaarisuudesta johtuen saadut vetoleikkauslujuusarvot saattavat olla alhaisempia kuin valmistajan ilmoittamat.

ASTM-5868 standardi erottelee murtumat seitsemään eri malliin. Ensimmäinen on adheesiomurtuma, jossa liima-aine pettää liimapinnalta. Seuraavana on koheesiomurtuma, jossa tapahtuu liima-aineen sisäinen murtuma. Kolmantena on ohuen kerroksen koheesiomurtuma, jossa liimasta jää toisen kappaleeseen vain ohut kerros, jolloin suurin osa saumasta jää toiseen kappaleeseen. Neljäntenä on kuiturepeämä, jossa liitos pettää liimattavan kappaleen sisällä repien kuituja

mukanaan, joka pätee siis vain kuitulujitetuilla kappaleilla. Viidentenä on kevyt kuiturepeämä, jolloin liitos pettää aivan kuituilujitetun kappaleen yläpinnasta, kuitenkin niin, että kuidut tulevat esiin. Kuudentena on tilanne, jossa liimattava kappale katkeaa tai pettää liimasauman ulkopuoliselta alueelta. Seitsemäntenä on tilanne, joka on mikä tahansa sekoitus edellämainituista vauriomalleista.

Lujitemuovikappaleilla kuiturepeämä on toivotuin näistä murtumismalleista, koska se todistaa liiman adheesio- ja koheesio- ominaisuuksien olevan liimattavan kappaleen ominaisuuksia paremmat.



Kuva 7. Liimaliitoksen murtumismallit

5.2 Testikappaleiden valmistus

ASTM-5868 mukaisen testin suorittamiseen valmistettiin 25 mm x 100 mm mittaisia kappaleita, joita käytettiin liimaliitoksiin. Kappaleiden paksuus oli 3 mm ja 4 mm.

Lujitemuovikappaleiden valmistus alkoi lasipöydän irroitusainekäsittelyllä. Irroitusaineena toimi Chem Trend Chemwax SP, joka on karnaubapohjainen muottivaha. Muottivaha levitettiin lasipöydälle, jonka jälkeen se kiillotettiin. Tämän jälkeen pöydälle ruiskutettiin CCP Composites polycor isoftaalipohjainen gelcoat, jonka jälkeen laminoitiin painoltaan 600g/m² katkokuitumattoa. Matriisimuovina toimi Norsodyne H 13212 TAE ortoftaalipohjainen tyydyttymätön polyesteriharts MEKP-kovetteella. Osaan pinnasta telattiin nylonpohjainen repäisykangas. Kappaleet leikattiin timanttiteräisellä pyörösaahalla 25 mm x 100 mm mittaisiksi kappaleiksi ja osaan kappaleista tehtiin esikäsittelyjä. Lujitemuovikappaleet valmistettiin venetuotantotilaa vastaavissa olosuhteissa noin 20 °C lämpötilassa. Kappaleille ei tehty erillistä jälkikovetusta. Testit suoritettiin kaksi viikkoa kappaleiden valmistuksen jälkeen.

Testikappaleissa käytettävä alumiini valittiin Silver-veneiden tuotannosta, joka on tyyppillistä veneissä käytettävää alumiinilaatua, johon on seostettu magnesiumia. Alumiinikappaleet leikattiin pyörösaahalla oikean mittaisiksi sekä viimeisteltiin. Osa kappaleista esikäsiteltiin.

Testattaviksi pinnoiksi valittiin tyyppilliset alumiini- ja lujitemuovivenetuotannossa käytettävät pinnat ja mahdolliset pintakäsittelyt. Polyesterihartsipinnalle näytteiksi valittiin käsittelemätön pinta, repäisykangaspinta sekä hiomapaperilla hiottu ja asetonilla pyyhitty pinta. Hiomapaperin karkeus oli P80. Gelcoatpinnoiksi valittiin käsittelemätön pinta sekä pinta, joka oli hiottu P120 karkeudella ja pyyhitty asetonilla. Topcoat pinnan adheesio-ominaisuuksia ei tässä opinnäytetyössä testattu, koska sen adheesio pinnalla olevan parafiinikerroksen vuoksi on oletettavasti heikko. Topcoat pinta tulee hioa hartsikerrokseen asti silloin, kun siihen on tarkoitus tehdä liimaliitoksia. Alumiinipinnoiksi valittiin käsittelemätön pinta, P80 karkeudella hiottu pinta sekä pyyhintä asetonilla ja primerin käyttö.

Testattaviksi liimoiksi valittiin Kiillon yksikomponenttisista SMP-liimoista Kiiltoflex K, Kiiltoflex R, Kiiltoflex XPU, Kiiltoflex N10 sekä 2-komponenttinen polyuretaaniliima Kestopur 210. Kiillon tuotteiden lisäksi testeihin valittiin suositut venekäyttöön tarkoitetut yksikomponenttiset polyuretaaniliimat, joista toinen on puhdas rakenneliima ja toinen enemmänkin tiivistyskäyttöön. Kestopur 210 on

huomattavasti kovempi ja jäykempi liima kuin muut testattavat tuotteet, jotka ovat elastisia liimamassoja.

Liima	Tyyppi	Murtovenymä
Kiiltoflex K	SMP	400 %
Kiiltoflex R	SMP	200 %
Kiiltoflex XPU	SMP	300 %
Kiiltoflex N10	SMP	300 %
Kestopur 210	2-K Polyuretaani	15 %
1KPU1	1-K Polyuretaani	400 %
1KPU2	1-K Polyuretaani	300 %

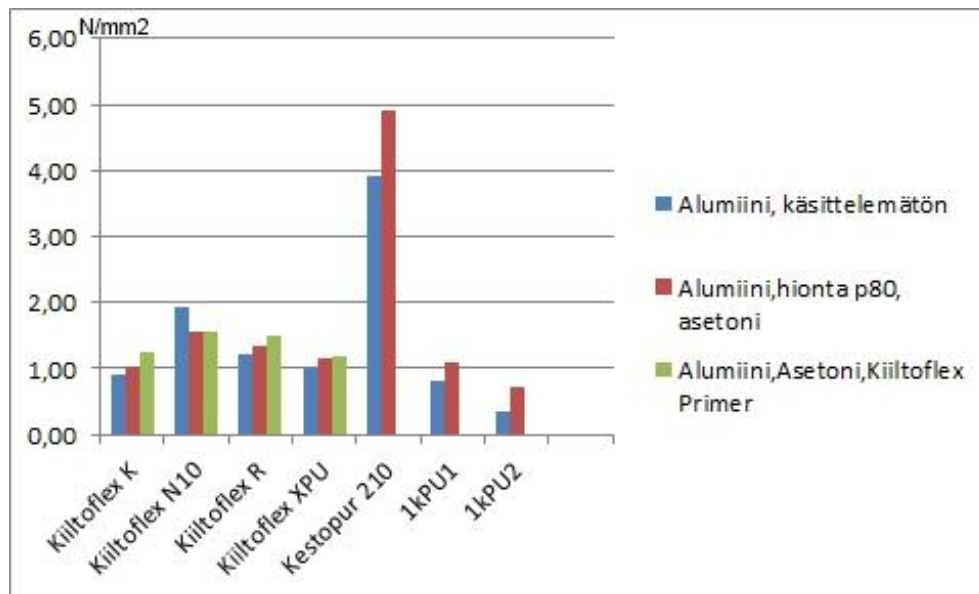
Kuva 8. Testattavat tuotteet ja valmistajien ilmoittamat murtovenymät.

Liimaliitokset tehtiin vanerijigissä, jolla saatiin aikaan tasainen saumanpaksuus. Työtilan ilmankosteus oli alhainen, joten riittävä ilmankosteus saavutettiin vesisumuttimella. Liitosten annettiin kovettua noin 7 vuorokautta, ennen kuin testit suoritettiin. Valmiit testikappaleet koostuivat kahdesta samanlaisesta toisiinsa liimatuista kappaleista.

5.3 Testin suorittaminen ja tulokset

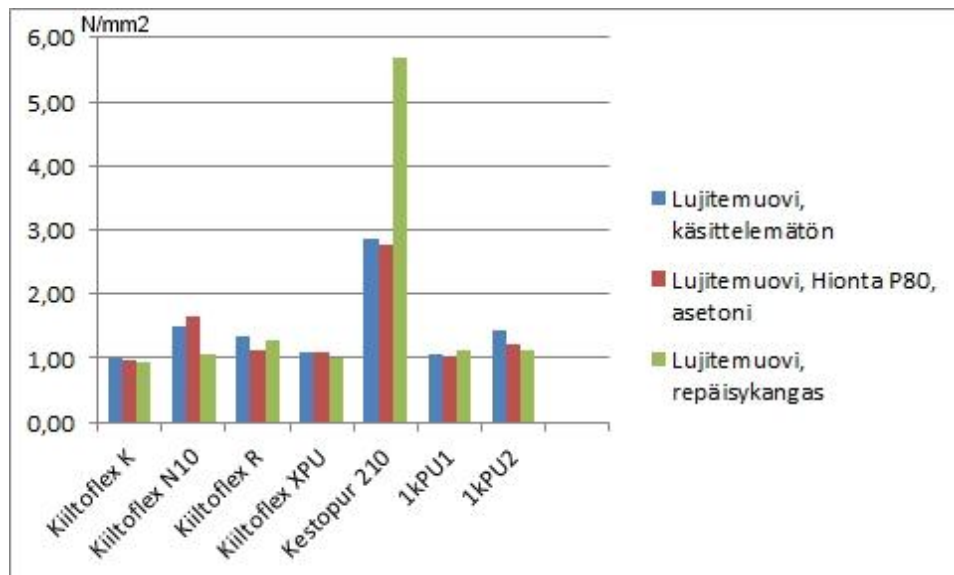
Jokaisesta variaatiosta testattiin viisi näytettä, joista laskettiin vetoleikkauslujuuksien keskiarvo. Testit onnistuivat kokonaisuudessaan hyvin, eikä mittaustuloksissa ollut suuria vaihteluja saman variaation kohdalla.

Alumiinikappaleiden välisessä liimaliitoksessa SMP-liimojen adheesio alumiinipintaan osoittautui hyväksi, eikä hionnalla ollut suurtakaan merkitystä adheesioon. Primerin käyttö osoittautui positiiviseksi Kiiltoflex K liimalla, jossa lujuus kasvoi 38 % ja Kiiltoflex R ja XPU liimoilla, joissa lujuus kasvoi 24 % ja 19 %. Kaksikomponenttisella kestopur 210 polyuretaaniliimalla adheesio alumiinipintaan oli myös hyvä. Hionnalla ja liuotinpyyhinnällä saatiin vielä 25 % parannus lujuuteen. Yksikomponenttisillä polyuretaaneilla adheesio alumiinipintaan oli huono, toisella lähes olematon. Hionnalla ja liuotinpyyhinnällä saavutettiin 35 % ja 108 % kasvu lujuuteen. Nämä yksikomponenttiset polyuretaaniliimat tarvitsevat primerin 5000-sarjan alumiinipinnalle. Murtumiset olivat pääasiassa adheesiomurtumia kaikilla liimoilla.



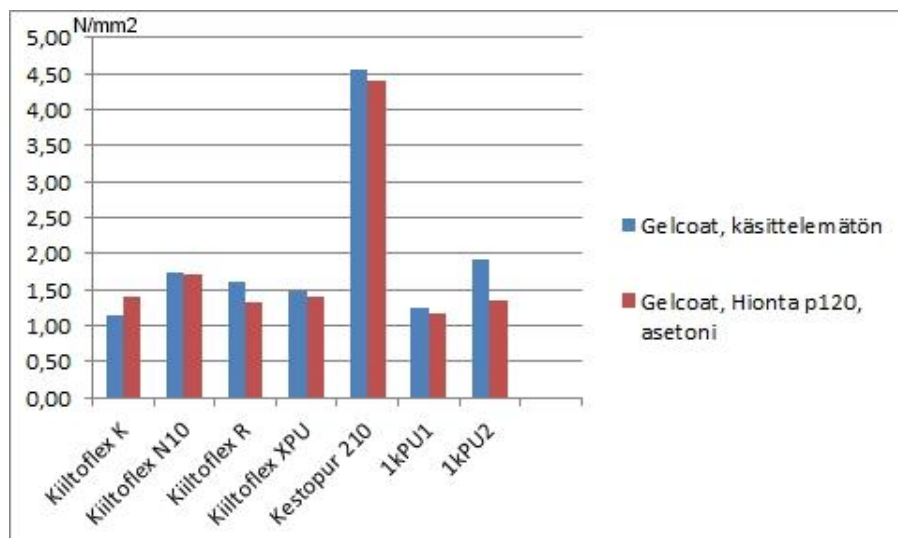
Kuva 9. Vetoleikkauslujuudet alumiinipinnalla

Lujitemuovikappaleissa SMP-liimojen adheesio oli hyvä eikä hionnalla tai repäisykankaalla saavutettu parannuksia adheesioon. Yksikomponenttisillä polyuretaaniliimoilla tilanne oli sama. Repäisykankaan selkeä negatiivinen vaikutus huomattiin ainakin toisella yksikomponenttisellä polyuretaaniliimalla, jossa lujuus aleni 22 % ja Kiiltoflex N10 liimalla, jossa lujuus aleni 29 %. Kaksikomponenttisellä Kestopur 210 polyuretaaniliimalla repäisykangas esikäsittelymenetelmänä oli toimiva ratkaisu nostaten lujuutta 99%. Hionnalla ja liuotinpyyhinnällä ei ollut vaikutusta lujuuteen. Kestopur 210 liimalla murtumat olivat kuiturepeämiä ja muilla liimoilla koheesio- ja adheesiomurtumia.



Kuva 10. Vetoleikkauslujuudet polyesterihartsipinnalla

Kaikkien liimojen adheesio gelcoatpintaan oli hyvä. Hionnalla ja liuotinpyyhinnällä ei saavutettu lujisuuden kasvua. Kestopur 210 liimalla murtuminen tapahtui kuiturepeämänä ja muilla adheesio- ja koheesiomurtumina.



Kuva 11. Vetoleikkauslujuudet gelcoatpinnalla.

Tuloksista nähdään hyvin, miten kovemmalla liimalla, jolla on pieni murtovenymä saadaan korkeat vetoleikkauslujuusarvot. Pelkästään liiman leikkauslujuuden perusteella ei liiman valintaa kuitenkaan kannata tehdä, sillä monesti elastinen ja sitkeä liima toimii paremmin pitkäaikaisen dynaamisen kuormituksen alaisena sekä kestää paremmin iskuja ja repiviä kuormia. Tuloksista nähdään myös, miten

esikäsittelyiden vaikutus on hyvinkin vaihtelevaa, eikä se aina takaa parempaa lopputulosta. Testit ei kuitenkaan huomio esikäsittelyiden vaikutusta pidemmällä aikavälillä, jossa liitokset altistuvat meriolosuhteille. Ikääntymisen ja olosuhteiden vaikutus näkyy kuitenkin enemmän liiman koheesio-ominaisuuksissa.

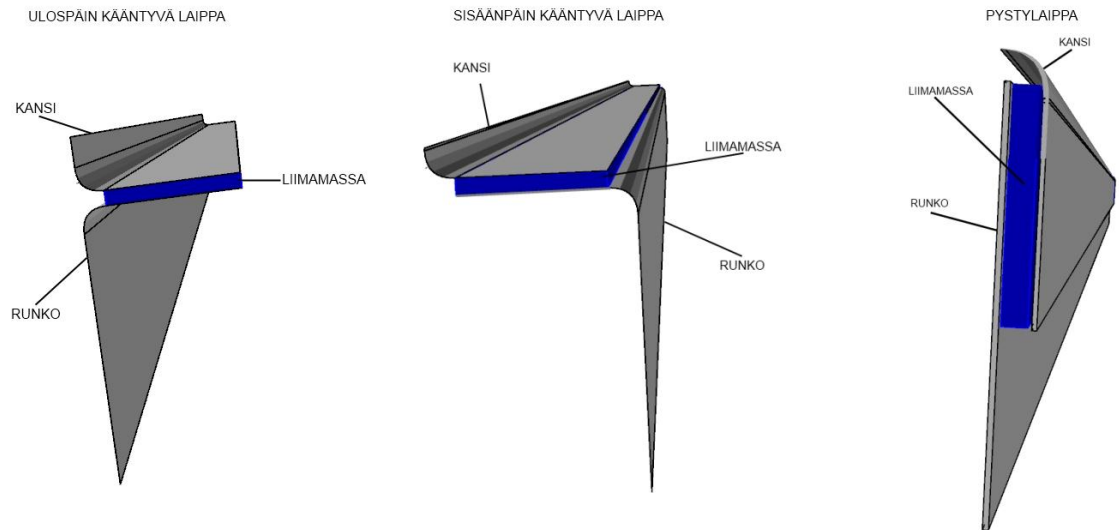
6 MAHDOLLISET LIIMAUSKOHTEET

6.1 Rungon ja kannen välinen liitos

Rungon ja kannen välinen liitos on kriittinen liitos, joka yhdistää veneen rungon ja kannen yhtenäiseksi rakenteeksi. Liitoksen tulee kestää siihen kohdistuva kuormitus rakenteiden taipuessa, mutta sen ei kuitenkaan tarvitse kestää enempää kuin runko tai kansi kestää. Kannen ja rungon välinen liitos on tyypillisesti veneen levein osa, jolloin siihen kohdistuu iskuja rantautuessa sekä silloin, kun venettä käsitellään maissa.

Kansi ja runko voidaan liittää toisiinsa esimerkiksi niiteillä, ruuveilla, pulteilla, liimalla tai laminoimalla ja yleensä liitos tehdäänkin käyttämällä mekaanista liitosta, joka tiivistetään liimamassalla vesitiiveyden saavuttamiseksi. Ruuveilla tehtävässä liitoksessa on käytettävä taustalevyä. ISO 12215 rakennestandardin mukaan A, B ja C kategorian veneissä kannen ja rungon välinen liitos tulee olla vesitiivis. Vuotava kannen ja rungon välinen liitos altistaa kosteuden pääsyn rakenteisiin, josta sitä ei voi pumpata ulos, johtaen sisustan kosteusvaurioihin. Liitoksen korjaus jälkeen päin on työlästä ja hankalaa.

Kannen ja rungon välinen liitos tehdään tyypillisesti laippaliitoksena. Liitoksesta on lukematon määrä erilaisia variaatioita valmistajasta riippuen. Liitoksessa saatetaan käyttää myös metalliprofiileja. Liitoksen yhteyteen asennetaan yleisesti varvaslista tai törmäyslista, jonka kiinnitys tulee ottaa liitosta suunnitellessa huomioon. Kannen ja rungon välinen laippaliitos perustuu ulospäin kääntyvään laippaan, sisäänpäin kääntyvään laippaan tai pystylaippaan.



Kuva 12. Kannen ja rungon välinen liitos

Iso 12215 standardin mukaan laippojen limitys (mm) lasketaan kaavalla

$$4 \cdot L_H \quad (2.)$$

jossa L_H on veneen rungon pituus (m). Limityksen tulee kuitenkin olla vähintään 30 mm, arvojen ollessa kuitenkin vain suuntaa antavia silloin, kun käytetään rakenneliimoja. Standardit eivät anna muita rajoituksia tai ohjeistuksia kannen ja rungon väliseen liimaliitokseen, vaan kehottavat toimimaan yhteistyössä liiman valmistajan kanssa ja luottamaan aikasempiin kokemuksiin. Liimaliitoksen sauma tulee levittää katkeamattomana kiertäen koko rungon laipan, jolloin liimapinta-ala on mahdollisimman suuri ja voimat jakautuvat mahdollisimman laajalle alueelle. Liitosta tehtäessä on käytettävä joustavia vällyspaloja, joiden paksuus tulee olla vähintään 3 mm, jolloin paksu sekä sopivasti elastinen liimasauma on kykenevä ottamaan paremmin vastaan iskuja, repiviä kuormia ja muodonmuutoksia. Lisäksi, venekokoonpanon mittatoleranssit ovat monesti 3-4 mm, joten ohuempi sauma tuottaa ongelmia. Liima-aineelta vaaditaan kannen ja rungon välisessä liitoksessa riittävää avointa aikaa liimamassan levitykseen, hyvää adheesiota liimattaviin pintoihin, vällyksentäyttykyä, sopivaa murtovenymää, riittävää koheesiota sekä säänkestoa.

Veneitä rakennetaan myös niin, että käytetään alumiinirunkoa ja lujitemuovikantta. Tällöin saadaan molempien materiaalien hyvät ominaisuudet kohdistettua haluttuihin rakenteisiin. Alumiinin ja lujitemuovin liitoksessa tulee ottaa huomioon muutamia tekijöitä. Adheesion tulee olla riittävä alumiini- ja lujitemuovipintaan, jolloin

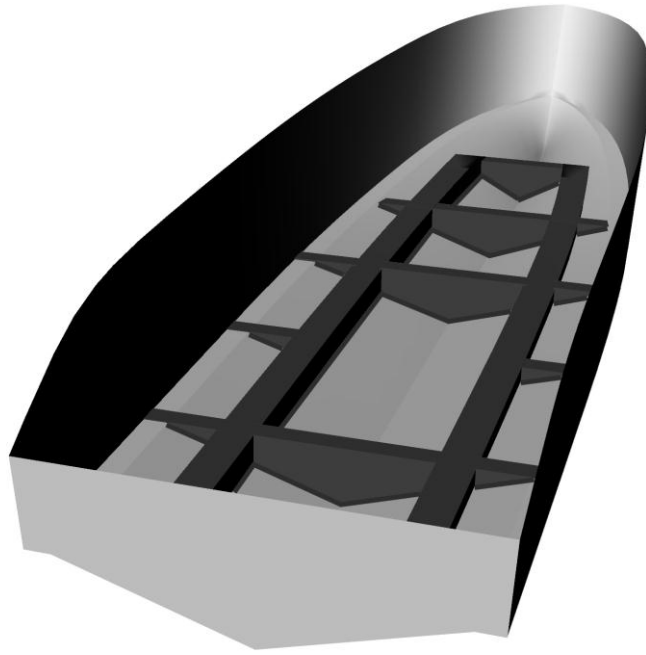
ratkaiseva adheesiokyky on materiaalilla, johon liima tarttuu huonommin. Liitosta suunniteltaessa, on lujitemuovilaipasta tehtävä riittävän jäykkä, jotta se on mahdollisimman lähellä alumiinin jäykkyyttä. Tämä voidaan aikaan saada käyttämällä suunnattuja lujitteita. Lujitemuovi- ja alumiinilaippojen paksuudet on myös oltava lähellä toisiaan. Näin vältetään liitoksen epätasapainolta ja kuormitus saadaan jakautumaan tasaisemmin. Alumiinin ja polyesteripohjaisen lujitemuovin lämpölaajenemisessa ei ole suurta eroa, mutta alhaisella murtovenymällä varustettua liimaa ei kuitenkaan kannata käyttää.

6.2 Jäykisteet, laipiot ja moduulit

Lujitemuoviveneen runko jäykistetään yhdistelemällä pitkittäisiä ja poikittaisia jäykistepalkkeja, rakenteellisia laipioita sekä muita veneen sisäisiä komponentteja. Jäykisteratkaisut vaihtelevat veneen koosta, käyttötarkoituksesta sekä suunnittelukategoriasta riippuen. Kerroslevylaminaatista valmistetuissa veneissä jäykistämisen tarve on vähäisempi, jolloin jäykisteratkaisuista voidaan tehdä yksinkertaisempia. Veneiden jäykisterakenteen mitoitetaan ISO 12215-5 standardin mukaan. Liimaliistosta käsitellään periaatteellisella tasolla ISO 12215-6 standardissa, mutta kuitenkin todella suppeasti, ilman yksinkertaisia työkaluja rakenneliimoilla tehtävien liitosten määrittelyyn.

Jäykisteet voidaan rakentaa yksitellen suoraan veneen runkoon tai vaihtoehtoisesti erillisestä muotista yksittäisinä kappaleina tai isompinakin kokonaisuuksina. Jäykistepalkisto voi olla myös integroitu sisämoduuliin. Tyypillisesti jäykisteet kiinnitetään runkoon laminoimalla, mutta liimaliitoksen käyttö on tässäkin tilanteessa tehokkaampi ja siistimpi vaihtoehto. Jäykisteiden rakentaminen yksitellen ilman muottia on työläs ja aikaa vievä menetelmä, eikä se sovellu tehokkaaseen sarjatuotantovalmistukseen.

Liimaliitoksella kiinnitettävä erillisestä muotista valmistettu jäykistemoduuli on nopea, siisti ja mittatarkka menetelmä veneen jäykistämiseen. Tyypillisessä jäykistemoduulissa on poikittaiset ja pitkittävät jäykisteet samalla korkeudella, joka mahdollistaa hyvän tuen yläpuolelle tulevalle sisämoduulille tai turkille. Rungon ja jäykisteen välisen liimasauman tarkoituksena on siirtää tasaisesti ja tehokkaasti kuormat rungosta jäykisteisiin sekä vaimentaa iskuja ja värinää.



Kuva 13. Esimerkki muotista valmistetusta jäykistemoduulista.

ISO 12215-6 standardin mukaan liimaliitosten suunniteltu leikkauskuormitus on pidettävä matalana käyttäen normaalia korkeampaa turvakerrointa. Näin rajoitetaan mahdollista virumista ja mahdollistetaan liitosten pitkäikäisyys. Tämä on perusteltuna liimojen viskoelasitella käytöksellä sekä liimaliitoksen monimutkaisella jännitysjakaumalla. Suunniteltu leikkauskuormitus lasketaan kaavalla

$$\tau_{\text{dbond}} = 0,2 \tau_{\text{ubond}} \quad (3.)$$

jossa τ_{dbond} on suunniteltu leikkauskuormitus (N/mm^2) ja τ_{ubond} on liimaliitoksen äärimmäinen leikkauslujuus (N/mm^2). Standardissa käsiteltävät liimat ovat epoksi, polyesteri tai vinyyliesteri pohjaisia massoja tai kittejä, eivätkä varsinaisia rakenneliimoja.

Erillisten lujitemuovi- tai vanerilaipioiden kiinnitys runkoon onnistuu parhaiten myös liimaliitoksella. Tyypillisesti tämä on tehty laminoimalla laipio runkoon molemmin puolin. Liimaliitosta käytettäessä kannattaa laipiosta tehdä laipallinen, sillä se helpottaa liimausta, nostaa liitoksen pinta-alaa ja kestää paremmin kuormitusta. Paksummalla liimasaumalla, laipion laippojen ei tarvitse olla juuri oikeassa kulmassa runkoon nähden, joka yksinkertaistaa laipioiden valmistusta ja asennusta.

6.3 Läpiviennit ja helat

Rungon läpivientien tulee olla vesitiiviitä ja turvallisia. Läpiviennin kaulukseen lisätään liimamassa, joka kestää meriolosuhteita. Liimamassalla ei tarvitse olla korkeita lujuusarvoja, mutta sillä tulee olla pitkäikäiset tiivistysominaisuudet. Liimamassaa valittaessa on selvitettävä, että soveltuuko kyseinen tuote vesilinjan alapuolelisiin kohteisiin. Huomion arvoinen asia on myös se, että onko läpivienti mahdollisesti irrotettava tai vaihdettava tulevaisuudessa, sillä liimamassan adheesioominaisuuksien ollessa korkeat, irrotus ei välttämättä ole helposti tehtävissä.

Helojen kiinnitysreiät on myös syytä tiivistää liimamassalla, jotta ne eivät läpäisisi kosteutta. Kosteuden pääsy rakenteisiin helan kiinnitysreiästä aiheuttaa ongelmia erityisesti sellaisissa kerroslevyrakenteisissa veneissä, joissa ydinaineen kastuminen aiheuttaa pidemmällä aikavälillä rakenteen heikkenemisen ja delaminaation. Myös veneen sisustan kosteusvauriot ovat mahdollisia.

Läpivientien ja helojen reikiä poratessa, kannattaa reiän ympärille gelcoattiin tehdä noin 45 asteen viiste. Tämä ehkäisee liimamassan liiallista ulospuristumista kiristysvaiheessa sekä gelcoat in säröilyyn. Tämä voidaan myös tehdä prikoilla. Laipan tai kauluksen lisäksi liimamassaa on hyvä levittää myös reikään. Läpivientien ja helojen tiivistämiseen soveltuvat esimerkiksi yksikomponenttiset polyuretaaniliimat ja SMP-liimat. Jos helaan kohdistuu kovaa kuormitusta, on liimamassalla oltava myös hyvät lujuusominaisuudet.

6.4 Tuulilasi ja ikkunat

Veneen tuulilasi ja ikkunat ovat tyypillisesti polymetyylimetakrylaattia (PMMA), polykarbonaattia (PC) tai lasia. Levyt ja kehykset voidaan kiinnittää mekaanisin kiinnikkein tai liimaamalla. Liitostavasta riippumatta, liitosten tulee olla vesitiiviitä. Ikkunoiden ja tuulilasin liimaliitos altistuu voimakkaasti UV-säteilylle, joten polyuretaaniliimaa tai muuta huonosti UV-säteilyä kestävästä liimasta käytettäessä, on liitos suojattava peitelistalla, suojaitepillä tai lasissa olevalla pinnoitteella. Liiman tulee myös kestää tuulilasin ja ikkunoiden puhdistuksessa käytettäviä kemikaaleja. Tuulilasi ja ikkunat kiinnitetään alumiiniseen tai lujitemuoviseen kehykseen tai suoraan runkolaippaan. Mahdolliset pintakäsittelyt on syytä tehdä kiinnitettävän levyn

lisäksi myös kehykselle tai runkolaipalle. Alumiinikehykset ovat monesti anodisoituja, jonka vuoksi liiman adheesio kehykseen tulee testata ennen tuotantoa.

Polymetyylimetakrylaatin ja polykarbonaatin lämpölaajenemiskerroin on selkeästi suurempi kuin alumiinin, polyesteripohjaisen lujitemuovin tai lasin. Muovilevyn lämpölaajeneminen on otettava huomioon käyttämällä riittävää välystä asennuksessa sekä elastista liimamassaa. Riittävä saumanpaksuus saadaan aikaan välyspaloilla. Käyttötarkoitukseen soveltuu esimerkiksi yksikomponenttinen polyuretaaniliima tai SMP-liima. SMP-liiman hyvien adheesio-ominaisuuksien ja UV-säteilyn keston vuoksi se on luotettavin valinta.

Tuulilasin ja ikkunoiden liimaliitokset testataan ISO 12216 standardin mukaan, jossa liitoksen testaamiseen on määritelty kolme eri vaihtoehtoa. Ensimmäinen vaihtoehto on sisäinen painetestti, toisena erotustesti ja kolmantena on vaihtoehto, jossa edellytetään, että valmistajan ohjeita noudatetaan ja liitoksen lujuus tarkistetaan laskemalla.

7 LOPPUPÄÄTELMÄT

Lujitemuovi- ja alumiiniveneiden tuotannossa on paljon liitettäviä osia. Kappaleessa 6 mainittujen liimauskohteiden lisäksi liimaliitoksella voidaan liittää esimerkiksi keulapotkurin tunnelit, uimatasot, kattorakenteet, ohjauspulpetit, penkit, sisustuspaneelit, tiikkikannet, törmäyslistat ja monet muut kappaleet, joiden määrä kasvaa suhteessa venekokoon. Kilpailu ja ympäristöpoliittiset syyt ajavat uusien materiaalien ja rakenneratkaisujen tuloa venetuotantoon. Automatisointi ja modulaarisuus ovat myös asioita, joiden osuus venetuotannossa nousee esille. Liimaliitoksella on parhaimmat lähtökohdat pystyä sopeutumaan erilaisille materiaaleille ja valmistusmenetelmille ilman suuria muutoksia.

Jotta rakenteellisten liimaliitoksien käyttö yleistyisi venetuotannossa, tulisi venealan standardien ottaa paremmin huomioon liimaliitos ja tarjota selkeitä menetelmiä liimaliitoksen mitoittamiseen.

Liima-aineen valinta tehdään monesti valmistajan ilmoittamien lujuusarvojen perusteella. Tässä kohtaa ei välttämättä kuitenkaan tule ajateltua, että valitsemalla jonkin tietyn tuotteen, määrittelee tämä valinta hyvin pitkälle liitoksen suunnittelun,

valmistusmenetelmät, tarvittavat varusteet ja työkalut. Näin ollen liimaliitosta suunniteltaessa on alusta alkaen syytä ajatella liimaliitosta kokonaisuutena. Liitosprosessista tulee muodostua mahdollisimman yksinkertainen, mahdollisimman vähäisillä työvaiheilla ja kustannuksilla. Liima-ainetta valittaessa on täysin turhaa valita tuote, jolla on enemmän lujuusominaisuuksia ja suorituskkyä kuin tarvitaan. Monesti suorituskvyn kasvaessa vaaditaan myös valmistusprosessilta enemmän. Tämä näkyy raaka-ainekustannuksissa ja valmistuskustannuksissa.

Liimaliitos rakenteellisena liitosmenetelmänä vaatii huolellista työskentelyä ja pienikin virhe voi johtaa liitoksen epäonnistumiseen. Tästä johtuen tulee kaikille liimaliitoksen parissa työskenteleville henkilöille järjestää riittävä perehdytys, jotta oikeat asiat osataan ottaa huomioon. Liitoksen onnistumista ei voida liitosprosessin jälkeen täysin varmuudella todeta, jolloin laadunvalvonnan osuus korostuu.

Alumiini- ja lujitemuovi soveltuvat yleisesti ottaen hyvin liimaliitoksille. Eri alumiiniseoksilla ja käsittelyillä on todennäköisesti vaikutus adheesioon. Lujitemuovilaminaatin liimausominaisuudet vaihtelevat käytettyjen materiaalien, valmistustekniikan ja rakenteen perusteella. Näin ollen, jos materiaalin liimausominaisuuksista ei löydy valmiita testituloksia, on kannattavaa testata ne ennen varsinaista tuotantoa.

Tässä opinnäytetyössä selvitettiin peruseriaatteita, jotka vaikuttavat liimaliitoksen onnistumiseen venetuotannossa. Kiilto Oy tarjosi hyvän lähtökohdan ja tuen opinnäytetyön tekoon. Silver ja Seastar-veneiden tuotannossa tehtäviin liitoksiin tutustumisella oli hyötyä realiteettien hahmottamisessa ja oikeanlaisen näkökulman valinnassa.

LÄHTEET

Adhesive and Sealant Council. 2014. Methyl methacrylate adhesives. Saatavilla:
<http://www.adhesives.org/adhesives-sealants/adhesives-sealants-overview/adhesive-technologies/chemically-curing/two-component-%282-c%29/methyl-methacrylate-adhesives> [Viitattu 16.9.2014].

ASTM. 2001. D 4896, Standard Guide for Use of Adhesive-Bonded Single Lap-Joint Specimen Test Results.

Briggs, P.C & Jialanella, G. Advances in Structural Acrylic Adhesives. The Dow Chemical Company. Saatavilla:
<http://www.dow.com/webapps/lit/litorder.asp?filepath=automotive/pdfs/noreg/299-51538.pdf&pdf=true> [Viitattu 16.9.2014].

Burchardt, B. Diggelmann, K. Koch, S. Lanzendörfer, B. Wappmann, R. Wolf, J. 2006. Elastic Bonding, The basic principles of adhesive technology and a guide to its cost-effective use in industry. Sv corporate media GmbH, Germany.

Cognard, P. 2006. Handbook of Adhesives and Sealants Volume 2. Elsevier.

Davis, M & Tomblin, J. 2007. Best practice in adhesive-bonded structures and repairs. U.S. Department of Transportation. Saatavissa:
www.tc.faa.gov/its/worldpac/techrpt/artn0657.pdf [Viitattu 16.9.2014].

Dwight, J. 2002. Aluminium Design and Construction. Saatavissa:
<http://www.tandfebooks.com/isbn/9780203028193> [Viitattu 16.9.2014].

Ebnesajjad, S. 2008. Adhesives technology handbook 2nd edition. William Andrew inc. USA

Eric Greene associates. 1999. Marine composites second edition. Saatavissa:
<http://www.ericgreeneassociates.com> [Viitattu 16.9.2014].

Ficarra, C.H. 2001. Analysis of adhesive bonded fiber-reinforced composite joints. North Carolina State University. Saatavissa:
<http://repository.lib.ncsu.edu/ir/handle/1840.16/1417> [Viitattu 16.9.2014].

Hara, O. 1990. Curing Agents for Epoxy Resin. Three Bond Technical News. Saatavilla: <https://www.threebond.co.jp/en/technical/technicalnews/pdf/tech32.pdf> [Viitattu 16.9.2014].

Harper, C. 2004. Handbook of plastics, elastomers & composites fourth edition. The McGraw-Hill companies.

ITW Plexus. 1999. Material Safety Data Sheet. Saatavilla:
www.cwhayden.com/.../PDF/MSDS/000475-30600.pdf [Viitattu 16.9.2014].

Klapprott D. Li, H. Wong, R. Geisendorfer, G. 2004. Key factors of the peel ply surface preparation process. Henkel corporation. Saatavissa:
http://www.loctite.ph/157_PHP_HTML.htm [Viitattu 16.9.2014].

McGeorge, D. 2012. Predicting the failure of bonded structural joints in marine engineering. Teoksessa Adhesives in marine engineering. Edited by: Jan R. Weizenböck. Woodhead publishing.

Michaloudaki, M. 2005. An Approach to Quality Assurance of Structural Adhesive Joints. Technische Universität München. Saatavissa: media-tum.ub.tum.de/doc/601075/601075.pdf [Viitattu 16.9.2014].

Petrie, E.M. 2010. MS Polymers in “Hybrid” Sealants. EMP Solutions. Saatavissa:
<http://www.adhesives.org> [Viitattu 16.9.2014].

Petrie, E.M. 1999. Handbook of adhesives and sealants. The McGraw-Hill companies.

Petrie, E.M. 2012. Training Courses on Polyurethane Adhesives Part I: Formulation. Saatavissa: <http://www.specialchem4adhesives.com> [Viitattu 16.9.2014].

Scott Bader. 2005. Crystic composites handbook. Saatavissa:
<http://scottbader.com/composites> [Viitattu 16.9.2014].

Sims, E. 1993. Aluminium boatbuilding second edition. Adlard Coles nautical, London

Sippola, M & Hintikka, P. 2012. Liimattujen lujitemuovipalkistojen vaatimukset ja tarkastusmenetelmät. VTT tutkimusraportti. Saatavissa:

www.finnboat.fi/linked/fi/VTT_R_02681_12_2.pdf [Viitattu 16.9.2014].

Weitzenböck, J.R & McGeorge, D. 2005. BONDSHIP project guidelines. Det Norske Veritas AS.

KIILTOFLEX K

Tyyppi	silyylimodifioitu polymeeri
Kovettuminen	kosteuden avulla
Viskositeetti	1,5 milj. mPas
Nahoitumisaika	n. 15 min (23°C/50 % RH)
Läpikovuus	3 mm/vrk, n. 10 mm/ 7 vrk (23°C/50 % RH)
Tiheys	n. 1.59 kg/l
Käyttölämpötila	+1 ... +40 °C
Lämpötilankesto	-40 ... +90 °C
Vetomurtolujuus (DIN 53504)	2.1 N/mm ²
Leikkausvetolujuus RST-RST	2.2 N/mm ²
Murtovenymä (DIN 53504)	400 %
Shore A –kovuus	40
Värit	valkoinen, harmaa, musta

KIILTOFLEX N10

Tyyppi	silyylimodifioitu polymeeri
Kovettuminen	kosteuden avulla
Viskositeetti	2,5 milj. mPas
Nahoitumisaika	n. 10 min (23°C/50 % RH)
Läpikovuus	3 mm/vrk, n. 10 mm/7 vrk (23°C/50 % RH)
Tiheys	n. 1.49 kg/l
Käyttölämpötila	+1 ... +40 °C
Lämpötilankesto	-40 ... +90 °C
Vetomurtolujuus (DIN 53504)	2,5 N/mm ²
Leikkausvetolujuus RST/RST	3,0 N/mm ²
Murtovenymä (DIN 53504)	300 %
Shore A –kovuus	60

KIILTOFLEX R

Tyyppi	silyylimodifioitu polymeeri
Kovettuminen	kosteuden avulla
Viskositeetti	2,5 milj. mPas
Nahoitumisaika	n. 10 min (23°C/50 % RH)
Läpikovuus	3 mm/vrk, n. 10 mm/ 7 vrk (23°C/50 % RH)
Tiheys	n. 1.62 kg/l
Käyttölämpötila	+1 ... +40 °C
Lämpötilankesto	-40 ... +90 °C
Vetomurtolujuus (DIN 53504)	2.2 N/mm ²
Leikkausvetolujuus RST/RST	3.5 N/mm ²
Murtovenymä (DIN 53504)	200 %
Shore A –kovuus	60

KIILTOFLEX XPU

Tyyppi	erikoispolymeeri
Kovettuminen	kosteuden avulla
Viskositeetti	n. 2 milj. mPas
Nahoitumisaika	20 min (23°C/50 % RH)
Läpikovuus	3 mm/vrk, n. 10 mm/ 7 vrk (23°C/50 % RH)
Tiheys	n. 1.3 kg/l
Käyttölämpötila	+1 ... +40 °C
Lämpötilankesto	-40 ... +90 °C
Vetomurtolujuus (DIN 53504)	1.6 N/mm ²
Leikkausvetolujuus RST/RST	1.3 N/mm ²
Murtovenymä (DIN 53504)	300 %
Shore A –kovuus	30

KESTOPUR 210 T

Ominaispaino	n. 1.60 kg/dm ³ (harts), n. 1.20 kg/dm ³ (kovete)
Väri	beige
Seosviskositeetti (5:1)	12 000 mPas (Brookfield RVT 6/20, 20°C)
Shore D –kovuus	65
Murtovenymä	15 %
Murtolujuus	4½ N/mm ²
Leikkausvetolujuus:	
-RST/RST	7 N/mm ²
Pot life (120 g:lla mitattuna)	10 min (20°C, 50 % RH)
Työskentelyaika	max. 20 min sekoituksesta
Levitysmenetelmät	käsinlevitys tai 2-komponenttilaite
Levitysmäärä	200...600 g/m ² materiaalista riippuen
Puristusaika	väh. 1 h 15 min / 20°C
Pakkausko	1 000 ltr (1 200 kg) teräskontti
Arvot ovat ohjeellisia ja niitä ei voi pitää varsinaisena spesifikaationa.	

1KPU1

Värit	Musta, valkoinen, harmaa, ruskea
Kosketuskuiva*	n. 60 min.
Murtovenymä (DIN 53504)	> 400%
Repäisyjujuus (DIN 53515)	4 N/mm ²
Tuotteen levityslämpötilat	+10 °C - +35 °C
Käyttölämpötila-alue (jatkuva) (lyhytaikainen, max. 8 h)	-40 °C - +90 °C +120 °C
Säilyvyys (varastoituna < +25°C)	12 kuukautta
Levitystapa	Käsi-, painelma- tai akkukäyttöinen puristin

1KPU2

Väri	Valkoinen
Kosketuskuiva*	n. 40 min.
Murtovenymä (DIN 53504)	n. 300%
Veto-leikkausjujuus	n. 2.5 N/mm ²
Repäisyjujuus (DIN 53515)	n. 9 N/mm ²
Tuotteen levityslämpötilat	+10 °C - +35 °C
Käyttölämpötila-alue (jatkuva) (lyhytaikainen, max. 4 h)	-40 °C - +90 °C +120 °C
Säilyvyys (varastoituna < +25°C)	12 kuukautta
Levitystapa	Käsi-, painelma- tai akkukäyttöinen puristin

Liite 2.

	<u>Kiiltoflex K</u>	<u>Kiiltoflex N10</u>	<u>Kiiltoflex R</u>	<u>Kiiltoflex XPU</u>	<u>Kestopur 210</u>	<u>1kPU1</u>	<u>1kPU2</u>	
Alumiini, käsittelemätön	0,90	1,70	1,21	0,99	3,92	0,81	0,35	N/mm2
Alumiini,hionta p80, asetoni	1,01	1,54	1,33	1,14	4,90	1,09	0,72	N/mm2
Alumiini,Asetoni,Kiiltoflex Primer	1,24	1,50	1,50	1,17	X	X	X	N/mm2
	<u>Kiiltoflex K</u>	<u>Kiiltoflex N10</u>	<u>Kiiltoflex R</u>	<u>Kiiltoflex XPU</u>	<u>Kestopur 210</u>	<u>1kPU1</u>	<u>1kPU2</u>	
Lujitemuovi, käsittelemätön	0,98	1,48	1,34	1,10	2,85	1,06	1,44	N/mm2
Lujitemuovi, Hionta P80, asetoni	0,97	1,66	1,13	1,07	2,76	1,02	1,22	N/mm2
Lujitemuovi, repäisykangas	0,94	1,06	1,27	0,98	5,67	1,13	1,12	N/mm2
	<u>Kiiltoflex K</u>	<u>Kiiltoflex N10</u>	<u>Kiiltoflex R</u>	<u>Kiiltoflex XPU</u>	<u>Kestopur 210</u>	<u>1kPU1</u>	<u>1kPU2</u>	
Gelcoat, käsittelemätön	1,14	1,74	1,60	1,47	4,56	1,24	1,90	N/mm2
Gelcoat, Hionta p120, asetoni	1,39	1,71	1,31	1,40	4,41	1,16	1,34	N/mm2
Käsittelemätön alumiini								
Hionta P80,Asetoni vaikutus	13	-9	10	16	25	35	108	%
Aetoni,Primer vaikutus	38	-12	24	19	X	X	X	%
Käsittelemätön lujitemuovi								
Hionta, Asetoni vaikutus	-1	12	-16	-2	-3	-4	-15	%
Repäisykangas vaikutus	-4	-29	-5	-10	99	7	-22	%
Käsittelemätön gelcoat								
Hionta p120, Asetoni vaikutus	23	-1	-18	-5	-3	-6	-29	%